

Anotaciones sobre Ecología

Jorge Enrique Tovar Vanegas



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Palmira

ANOTACIONES SOBRE ECOLOGÍA

Ing. Jorge Enrique Tovar Vanegas

Profesor Asociado

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA

Anotaciones sobre Ecología

Universidad Nacional de Colombia
Sede Palmira

© Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira
Febrero de 2002

ISBN:958-8095-16-6

Publicación financiada por DIPAL

Reservados todos los derechos

Impreso en los talleres gráficos de
Impresora Feriva S.A.

Calle 18 N° 3-33

Teléfono: 883 1595

Cali, Colombia

E-mail: feriva@feriva.com – www.feriva.com

*A mis hermanas especies que deben
soportar la arrogancia e insensatez de la más
recién llegada al escenario de la vida:
la humana, que absurdamente desconoce el
respeto por las que ya estaban sin necesidad
de su presencia.*

*A mis parientes y amigos que siempre
han creído en mí y apoyado mis realizaciones.*

*A la bondad de un Ser Superior que
inspira mis andares en el marco
del reconocimiento de lo grandiosa
de su obra evolutiva.*

Contenido

Presentación	9
Introducción	11
1 Origen y evolución de las especies	13
1.1 Era arcaica	13
1.2 Era proterozoica	14
1.3 Era paleozoica	15
1.3.1 Período cámbrico	15
1.3.2 Período ordovícico	15
1.3.3 Período silúrico	16
1.3.4 Período devónico	17
1.3.5 Período carbonífero	18
1.3.6 Período pérmico	19
1.4 Era mesozoica	21
1.4.1 Período triásico	21
1.4.2 Período jurásico	23
1.4.3 Período cretáceo	25
1.5 Era cenozoica	26
1.5.1 Período terciario	26
1.5.2 Período cuaternario	28
2 La ecología como ciencia integradora y su historia	34
2.1 Relación de la ecología con las otras ciencias	34
2.2 Objeto de la ecología como ciencia de la actualidad	34
2.3 La ecología: entre las ciencias naturales y sociales	35
2.4 Síntesis histórica de la ecología	39
3 Niveles de organización en ecología	45
3.1 Los materiales biológicos	46
3.2 La célula	46
3.2.1 Características de los animales	47
3.2.2 Características de los vegetales	47
3.3 La especie	48
3.4 La población o demo	49
3.4.1 Los cinco reinos de la vida	53
3.5 La comunidad o biocenosis	57
3.6 El ecosistema	58
3.7 La biosfera	58
3.8 La noosfera	59
4 La hidrosfera	61
5 La litosfera	65
5.1 Características físicas fundamentales	66
5.1.1 Color	66
5.1.2 Textura	67
5.1.3 Estructura	67
5.2 El ecosistema del suelo	68
5.3 El perfil del suelo	74
6 Comunidades bióticas	76
7 Estratificación	77
7.1 Estructura biótica	77
7.2 Productores	77
7.3 Consumidores	80
8 Diversidad y dinámica de la comunidad	89
9 La fitosociología	95
9.1 Bosques tropicales caducos	100
9.2 Sabana	101

9.3	Desiertos	101
9.4	Chaparral	104
9.5	Pastizales	104
9.6	Bosques caducos de clima templado	104
9.7	Bosque lluvioso de clima templado	105
9.8	Taiga	106
9.9	Tundra	107
9.10	Páramo	108
10	El ecosistema	110
10.1	Características de los ecosistemas	113
10.2	Ecosistemas acuáticos	114
10.2.1	Ecosistemas lénticos	114
10.2.2	Ecosistemas lóticos	115
10.2.2.1	Estructura biótica en ecosistemas acuáticos lóticos	115
10.3	Ecosistemas estuarinos	115
10.3.1	Estructura biótica en ecosistemas estuarinos	116
10.4	Estructura biótica en ecosistemas marinos	116
10.4.1	El océano y sus mareas	116
10.5	El flujo de energía en los ecosistemas	117
10.5.1	Balance de energía	120
10.6	Primera y segunda leyes de la termodinámica	123
10.7	La productividad de los ecosistemas	123
10.7.1	Productividad bruta o fotosíntesis total	125
10.7.2	Productividad neta	125
11	Cadenas tróficas	126
11.1	Regulación de las cadenas tróficas	128
11.1.1	Efectos químicos intraespecíficos	129
11.1.2	Efectos químicos interespecíficos (aleloquímica)	129
12	Ciclos biogeoquímicos	133
12.1	El ciclo del agua	134
12.1.1	¿Cómo se forma el vapor de agua?	134
12.1.2	¿Qué pasa con el agua precipitada en forma de lluvia?	134
12.2	Los ciclos atmosféricos	136
12.2.1	El ciclo del nitrógeno	136
12.2.1.1	Fijación de nitrógeno	136
12.2.1.2	Aminificación	137
12.2.1.3	Nitrificación	138
12.2.1.4	Desnitrificación	138
12.3	Ciclo sedimentario	138
12.3.1	El ciclo del fósforo	138
12.4	El ciclo del carbono	141
13	Factores que actúan sobre los organismos	145
13.1	Factores externos de resistencia ambiental	145
13.2	Factores internos de resistencia ambiental	145
13.3	Leyes que rigen la actividad, el desarrollo y la reproducción	146
13.3.1	Ley de la tolerancia	148
13.4	Organismo esteno y organismo euri	150
13.4.1	Organismo esteno	150
13.4.2	Organismo euri	151
13.5	Algunos factores limitantes externos	152
13.5.1	La temperatura	152
13.5.2	El agua	154
13.5.3	Los nutrientes	154
13.5.4	La luz	155
Comentarios finales		157
Bibliografía		159

Presentación

El presente documento constituye una compilación y ampliación de conceptos fundamentadores en torno a la ecología, ciencia maravillosa que nos permite escudriñar acerca de las intrincadas relaciones de todas las formas vivas con su entorno y los factores que están incidiendo en los continuos cambios al interior de tal relación a través del tiempo. Se produce como un apoyo para los estudiosos del tema y en especial para aquellos estudiantes de las distintas áreas del conocimiento con el ánimo de acercarlos a la realidad de un planeta frágil, donde la simple respiración implica transformaciones sutiles, capaces, en sumatoria, de derivar afectaciones que se pueden somatizar en cualquier momento y bajo cualquier circunstancia, en detrimento del equilibrio ecosistémico que debe caracterizar siempre esa dialéctica entre lo biótico y lo abiótico.

Pretende constituirse en un apoyo para la comprensión de los diferentes temas planteados en desarrollo de las clases de ecología y se inspira en el reconocimiento de los conceptos básicos que son objeto de explicación por parte del profesor. El objetivo básico tanto del curso, como del libro, es propender a que el estudiante se acerque al conocimiento de todos aquellos temas que son la razón de ser de la Ciencia Ecológica, en aras de que sepan identificar claramente cuál es la importancia práctica de profundizar en los postulados que ésta enmarca, dentro del proceso de explicación de las complejas relaciones entre los seres y su entorno.

Reconociendo la dificultad de poder ahondar en los intrincados conocimientos que deriva la ecología, es claro que el curso debe concentrarse en la exposición de temas fundamentados, de tal forma que al final del mismo el estudiante tenga claros aquellos aspectos que lo ligan, como ser con capacidad transformadora de su entorno, a la dialéctica natural, dentro de la cual, y dado el nivel evolutivo de nuestra especie, es su mayor orientador y por ello el directo responsable de que esta se conserve, de tal forma que las múltiples manifestaciones de lo biológico puedan seguir su camino en el devenir del tiempo.

Quizás el aporte más significativo se consiga al final del curso, cuando se cuente con el reconocimiento de los criterios básicos de la ciencia ecológica y se puedan entonces comprender e identificar cuáles, en el caso de nuestro país, son los factores de perturbación socio-ecológica y cuál es la situación real del mismo en términos de recursos naturales, medio ambiente y los conflictos sociales por los que atraviesa, todo en aras de incentivar en el estudiante la adopción de un pensamiento ambiental, que lo motive a actuar con criterios de amor, respeto y alta valoración del conjunto socio-natural del cual hace parte, y de él mismo como ser humano determinante en dicho conjunto.

Se han escogido los más destacados autores de la actualidad, así como aquellos tradicionales textos sobre esta temática, tratando de presentar una visión lo más amplia posible, con el aporte modesto del suscrito, basado en la experiencia de veinticinco años de trasegar por los campos del ecologismo nacional e internacional, partiendo de las inolvidables experiencias de los años setenta, cuando insignes maestros de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, inspiraron mis primeros pasos hacia el mismo.

Introducción

Existen valiosos aportes científicos en torno al tema de la ecología, esa maravillosa ciencia capaz de explicarnos todo lo que acontece al interior del planeta que una vez dio origen a múltiples formas vivas que han sido producto y efecto del acomodamiento de incuantificables procesos de dialéctica natural.

La naturaleza en su conjunto es un complejo acontecer de muy específicas interacciones entre el conjunto de elementos vivos con su entorno, aquel que la favorece en cerca de treinta millones de manifestaciones distintas, si atendemos la última versión acerca del número de especies que compartimos en forma transitoria esta hasta ahora única casa habitable conocida.

Cada que nos acercamos al tema de la ecología surgen propuestas de reconocidos autores que pretenden siempre hacer entrar en razón a todos los terrícolas de la imperiosa necesidad de reorientar nuestra conducta, en aras de frenar aquellas erráticas actuaciones al interior de nuestra relación con la naturaleza, de tal forma que se pueda asegurar, o por lo menos prolongar por determinado tiempo, la continuidad de esa vida compartida en un mismo escenario.

Aquí, por tanto, propendemos a transcribir los conceptos más acertados en la temática, en una forma tal que permita no sólo una rápida comprensión de los mismos, sino la propia reflexión respecto a cuán valiosas son en su conjunto las demás especies que comparten el amplio escenario de la vida y el porqué es de vital importancia que entendamos lo delicado que resulta actuar en contravía de los insospechados principios de las leyes físicas, químicas y biológicas que facultan la misma.

Es recomendable que los lectores ahonden en la lectura de la bibliografía que citamos ya que corresponde a verdaderas autoridades en la materia y los textos consultados contienen los conceptos en forma más amplia y no resumida como aquí se los presenta, dados los costos que implica una publicación como ésta.

En esencia lo que se busca es que los estudiantes del curso de ecología puedan conocer fácilmente aquellos aspectos que les permitan comprender y aceptar la importancia de ésta como ciencia integradora y única que nos faculta para identificar claramente cuál debe ser el verdadero papel del hombre en la tierra, para que no siga siendo aquél que ahora sólo le entrañan graves e irreversibles patologías que ponen en peligro la continuidad de todas las formas que la habitamos.

1. Origen y evolución de las especies

La **astronomía** (que estudia el universo, estructura y evolución de los cuerpos celestes) y la **geología** (que estudia el desarrollo de la Tierra) en conjunto se ocupan del origen y transformación de nuestro planeta. La fase geológica corresponde al período posterior de la evolución de la Tierra desde el momento en que se formó la corteza terrestre merced al enfriamiento de la superficie ígnea. Veselov (1981).

La edad total de la Tierra se calcula aproximadamente en unos 5000 ó 7000 millones de años y el período geológico habrá durado alrededor de 3000 a 3500 millones de años. La historia de la corteza terrestre se divide en cinco eras:

1. Arcaica
2. Proterozoica
3. Paleozoica
4. Mesozoica
5. Cenozoica

La historia de la vida orgánica en la Tierra está relacionada con el desarrollo de la geología, así como el de la paleontología (ciencia de los vegetales y los animales fósiles). La geología nos ofrece el cuadro de las modificaciones que han experimentado las condiciones de vida en la Tierra; la paleontología, la historia del mundo orgánico. Veselov (1981).

Los restos fósiles de plantas y animales extinguidos, petrificados en la superficie del globo terrestre, permiten formarse una idea retrospectiva del mundo vegetal y del mundo animal. A continuación se presentará una breve reseña de cada una de las eras y períodos, tal como lo describen Veselov (1981) en su libro *La Evolución de la Vida*; y Gerald y Teresa Audesirk (1998) en el libro *Biología 3: Evolución y Ecología*; textos que considero muy apropiados para los fines que se persiguen con esta compilación.

1.1 Era arcaica

Esta era, la más remota de la vida en la Tierra, duró alrededor de 1500 millones de años. Fue en ésta cuando apareció la vida, a partir de la materia inanimada se desarrollaron las formas más simples de organismos vegetales y animales. La vida se concentraba entonces en las aguas de los mares y océanos. Los primeros seres vivos fueron corpúsculos microscópicos de proteína viva, acelulares, desprovistos de núcleos y membrana.

Estos seres se alimentaban absorbiendo, a través de la superficie corpuscular, las sustancias orgánicas disueltas en el agua. Cuando las reservas disueltas se agotaron, aparecieron otros seres capaces de utilizar la energía de

las reacciones químicas, para crear sustancias orgánicas a partir de las inorgánicas: las **bacterias**.

A medida que se iban perfeccionando los seres vivos más simples, aparecieron los unicelulares. En ellos, el corpúsculo microscópico de sustancia viva estaba dotado ya de núcleo y membrana. Algunos tenían la capacidad de formar sustancias orgánicas, a partir de las inorgánicas, mediante la fotosíntesis: las **algas microscópicas** que dieron lugar al mundo vegetal.

Otros organismos unicelulares no se alimentaban más que de sustancias orgánicas ya hechas. Estos organismos dieron lugar al mundo animal, y así surgieron dos ramas de la naturaleza orgánica. Veselov (1981).

1.2 Era proterozoica

Duró alrededor de 700 millones de años y en ella la vida alcanzó un desarrollo considerable, como lo prueba la existencia de ciertos minerales en capas proterozoicas formadas con base en los restos de los organismos vivos. Entre estos minerales figura el **mármol**, constituido por enormes aglomeraciones de conchas calcáreas de distintos animales marinos unicelulares.

En los mares existían bacterias, algas unicelulares y multicelulares. El mundo animal estaba representado por protozoarios (animales unicelulares), esponjas, celentéreos, gusanos anélidos, trilobites y muchas especies de moluscos. Los más organizados eran los trilobites, una clase de animales artrópodos hoy totalmente desaparecida que se asemejaba mucho a los crustáceos contemporáneos.

En aquellos tiempos no existían todavía los vertebrados; sin embargo, en esta era ya aparecen sus futuros generadores: los **protocordados**. Veselov (1981).

Trilobite



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

1.3 Era paleozoica

Comprende lo que se puede llamar “la historia antigua de la Tierra”. Dicha era comenzó 510 millones de años atrás y terminó hace alrededor de 185 millones. En ese enorme período se produjeron considerables cambios en la superficie terrestre, así como en plantas y animales del planeta. La era paleozoica se divide en seis períodos: cámbrico, ordovícico, silúrico, devónico, carbonífero y pérmico.

1.3.1 Período cámbrico

Tuvo una duración de 80 millones de años. La vida se concentró en el mar, distinguiéndose por una diversidad mayor que en los tiempos pre-cámbricos. Entre las plantas seguían predominando bacterias y algas, siendo la diversidad y cantidad de especies mucho mayores que antes. Aparecieron plantas con estructura más compleja. Como se sabe, las algas pluricelulares no poseen raíces, ni tallos, ni hojas propiamente dichas.

Aparecen ya unas plantas con rudimentos de tallos y hojas. La aparición de estas plantas entre las algas multicelulares tuvo mucha importancia para la ulterior evolución del mundo vegetal. Raíces y tallos dieron a las plantas la posibilidad de fijarse en el suelo y adaptarse poco a poco a la vida, ya no sólo en el agua, sino también en las orillas de las tierras que bañaban.

Estas plantas sentaron el comienzo de la vegetación de tierra firme. El mundo animal de los mares de aquellos tiempos era también muy abundante y estaba representado por tipos de invertebrados: esponjas, arqueociatos, corales, medusas, gusanos anélidos, moluscos, braquiópodos, trilobites, crustáceos y equinodermos (Veselov, 1981).

1.3.2 Período ordovícico

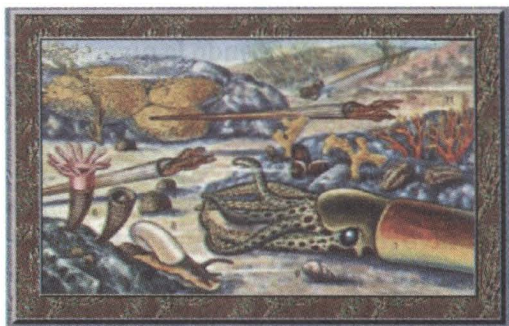
Este período comenzó hace unos 500 millones de años y tuvo una duración de 65 a 70 millones de años, durante los cuales los mares se retiraron, dejando grandes áreas descubiertas. El predecesor del océano Atlántico actual empezó a contraerse mientras que los continentes de esa época se acercaban unos a otros. Se produjo una intensa actividad volcánica, se elevaron montañas y el clima fue bastante parejo y tibio en toda la tierra. En el mar dominan los invertebrados, en especial los artrópodos y los moluscos; primeros peces, hongos. Audesirk, T. (1998).

Las formas de vida siguieron restringidas a los ambientes acuáticos. Los trilobites seguían siendo abundantes; los animales más característicos de este período fueron los graptolitos, pequeños hemicordados (animales que poseían una estructura anatómica precursora de la espina dorsal) coloniales; importantes grupos hicieron su primera aparición, entre ellos estaban los corales, los

crinoideos, los briozoos y los pelecípodos. Fue entonces cuando hicieron su aparición los primeros vertebrados, unos peces primitivos, con caparazón y sin mandíbula, siendo los restos del ostracodermos los más antiguos. Sus fósiles se encuentran en lechos de antiguos estuarios de América del Norte.

Los animales más grandes fueron unos cefalópodos (moluscos), que tenían un caparazón de unos 3 m de largo. Las plantas de este período eran similares a las del período anterior ya que no evolucionaron a formas más complejas que las algas.

Representantes del período ordovícico



Los primeros verdaderos cazadores de los océanos. Desde el ordovícico hasta nuestros días esta ha sido una especie premiada entre los arrendatarios del océano.

1. Angaraspis. 2. Gabreyaspis. 3. Hibernaspis.
Primeros vertebrados (ostracodermis).



1.3.3 Período silúrico

Empezó hace unos 400 millones de años y terminó hace unos 310 millones; la duración se calcula en torno a los 90 ó 120 millones de años. Tuvo lugar un sensible descenso del nivel de los continentes y un avance de los mares, de modo que, en muchos sitios, una parte considerable de tierra firme se cubrió de agua.

Entre las plantas siguen predominando bacterias y algas pero la vegetación comienza ya a extenderse a la tierra firme. Las algas marinas multicelulares dieron lugar a las primeras plantas herbáceas y arbóreas que, a juzgar por su estructura, ocupaban un lugar intermedio entre algas y esporofitos o criptógamas superiores, entre plantas acuáticas y las de tierra firme. Carecían de raíces, pero ya tenían rizomas y tallo, que constaba de leño y líber (capa fibrosa), teniendo en el centro un haz de tubos conductores por el que circulaba la solución de sustancias alimenticias; también tenía pequeñas placas verdes, rudimentos de hojas.

Estas plantas sirvieron de material inicial para toda la vegetación de tierra firme de nuestros días.

El mundo animal también se hizo mucho más diversificado. Alcanzaron considerable desarrollo braquiópodos, moluscos, cefalópodos y distintos equinodermos (erizos de mar, estrellas de mar, lirios de mar). En ese entonces se hallaban en pleno florecimiento los trilobites. El acontecimiento más importante fue el desarrollo de los vertebrados inferiores. Veselov (1981).

Muchos peces, trilobites, moluscos en el mar; primeras plantas vasculares; invasión de la tierra por parte de las plantas e invasión también por los artrópodos. Audesirk T. (1998).

1.3.4 Período devónico

Comenzó hace unos 310 millones de años y terminó hace alrededor de 275 millones. Duró cerca de 35 millones de años. En este período se produjeron importantes cambios en la superficie terrestre. El mar avanzó sobre la tierra firme para luego retroceder.

Tales cambios influyeron en los destinos del mundo orgánico. Su mayor consecuencia fue la adaptación de muchas plantas y animales a la vida en tierra firme: comenzó intensamente a extenderse sobre ella. Los continentes experimentaron frecuentes subidas y descensos. De aquí que los mares de poca profundidad se secaban muchas veces, para volver, más tarde, a llenarse de nuevo.

Por tal razón, las algas que crecían en la zona del litoral se veían muchas veces obligadas a adaptarse a la vida en un medio no acuático. Muchas especies de algas no resistieron los frecuentes cambios de las condiciones de vida y desaparecieron, adaptándose algunas a condiciones nuevas, pasando a desarrollarse en tierra firme. Algunos animales acuáticos también pasaron, a consecuencia de estos cambios, a la vida fuera de las aguas.

Al final del período devónico se propagó mucho el grupo de los helechos de simientes, antepasados de las plantas coníferas y de las angiospermas. En aquel entonces ya existía una vegetación bastante espesa de arbustos y árboles en tierra firme. Veselov (1981).

El mar devónico estaba lleno de especies de trilobites, braquiópodos, corales y lirios de mar. Apareció un nuevo grupo de moluscos cefalópodos: las **amonitas**. A la par con los vertebrados tan primitivos como los ostracodermos, todavía desprovistos de mandíbula, en dicho período aparecieron muchos peces: vertebrados dotados ya de mandíbula.

Los peces de aquellos tiempos florecen en el mar y constituyeron tres ramas principales: tiburones, dipnoos y crossopterigios. En este período prosperaban particularmente los tiburones del grupo de los placodermos (placodermi). Entre

estos grupos aparecieron grandes devoradores del mundo animal marino, por ejemplo: el dinictis, gigantesco pez de hasta 10 metros de longitud. Florecen también los trilobites en el mar y aparecen los anfibios e insectos. Audesirk, T. (1998).

El hecho de que mares y lagos se secaran a menudo contribuyó a la aparición de peces adaptados a la vida fuera del agua. Eran los peces dipnoos y crossopterigios; además de las branquias, tenían un pulmón muy simple, en forma de saco pulmonar primitivo. Al secarse el lago o el río, así como al escasear el oxígeno disuelto en el agua, dichos peces podían respirar cierto tiempo el aire atmosférico.

En la actualidad sólo existen algunas especies de estos peces antiguos (el ostracodermo americano y el australiano, además del protóptero africano). El ostracodermo americano, llamado también loalach o lepidosirena (*Lepidosiran paradoxa*), vive en los ríos y lagos cenagosos de América del Sur. Es un pez grande, de 90 centímetros a un metro de longitud. Al secarse el agua, la lepidosirena se queda en el cieno en estado letárgico, hasta que pasa la sequía y vuelve a su vida normal al regresar el agua.

Los crossopterigios son parientes más próximos de los dipnoos. La aparición de estos peces en el devónico desempeñó enorme papel en la ulterior evolución de los vertebrados. Cuando el agua se secaba, empezando a escasear el oxígeno disuelto, los crossopterigios podían, lo mismo que los dipnoos, respirar el aire atmosférico e inclusive salir a la orilla.

La salida de animales de organización más compleja —artrópodos y vertebrados— a la vida en tierra firme fue preparada por el desarrollo de la vegetación.

También aparecieron otros artrópodos en tierra firme: miriápodos e insectos. La Tierra fue habitada por vertebrados nacidos de peces crossopterigios: los estegocéfalos, representantes de los antiguos anfibios. El hecho de que tanto los estegocéfalos como los anfibios actuales (ranas y sapos) pasen por la fase de larvas en su desarrollo, viene a ser una prueba de que los anfibios proceden de los peces. Las larvas de anfibios hacen pensar en que sus antepasados fueron peces. Los estegocéfalos más primitivos habían sido los ictiostegos, los vertebrados de tierra firme más antiguos, que han conservado mucha semejanza con los peces crossopterigios. Veselov (1981).

1.3.5 Período carbonífero

Duró cerca de 50 millones de años; comenzó hace unos 275 millones y terminó aproximadamente hace unos 225 millones de años. Una característica importante fue la igualdad del clima en todos los continentes, pareciéndose al de los húmedos trópicos actuales. Gracias al clima cálido y húmedo (en aquel

entonces no había heladas), la vegetación se distinguía por su extraordinaria riqueza y exuberancia, surgieron enormes y espesos bosques, formados casi exclusivamente de plantas criptógamas superiores. Veselov (1981).

Estas plantas se distinguen de las angiospermas porque no se reproducen mediante semillas, sino por esporas, embriones microscópicos. Este modo de reproducción de las plantas superiores apareció antes que la reproducción por semillas, modo más complejo y evolucionado. En la actualidad existen también criptógamas superiores como diversas equisetáceas, helechos y licopodios, pero son en la mayoría de los casos plantas pequeñas, excepción hecha en el caso de algunos grandes helechos. En las épocas remotas las criptógamas estaban representadas por grandes árboles: helechos, equisetáceas y licopodios arborescentes. Veselov (1981).

Bosques pantanosos de helechos arbóreos y de licopodios; dominio de anfibios; numerosos insectos y origen de los reptiles. Audesirk, T. (1998).

Algunos licopodios (sigilarias y rododendros) llegaban a tener más de 40 metros de altura. Las enormes aglomeraciones de vegetales que se morían al caer en el suelo empantanado fueron constituyendo, poco a poco, yacimientos de **carbón de piedra**. De ahí el nombre de este período. Las condiciones existentes en este período favorecieron el desarrollo de animales de tierra firme pues había mucho alimento. Gracias a la intensa fotosíntesis, la atmósfera contenía mucho oxígeno: se hizo más fácil la respiración, elevándose notablemente el grado de actividad de los animales terrestres. Merced a la vida de las plantas de tierra firme se fue creando poco a poco el suelo. Aparecieron numerosos arácnidos e insectos (cigarras, grillos, libélulas, etc.) propagándose mucho los anfibios estegocéfalos. Veselov (1981).

Los estegocéfalos más comunes eran los laberintondos, parecidos a enormes cocodrilos (algunos medían cuatro metros y medio de largo). Estos animales, de movimientos torpes, vivían en lagos y ríos. Así, durante el período carbonífero predominaban en tierra firme los anfibios, muchos de ellos provistos de cola, antepasados remotos de las ranas contemporáneas.

1.3.6 Período pérmico

Comenzó hace unos 225 millones de años y acabó unos 185 millones antes de nuestra era, habiendo durado alrededor de 40 millones de años. Gracias a la ampliación de los continentes, la formación de grandes cadenas montañosas y otras causas, el clima dejó de ser uniforme en todo el planeta. En el Ecuador se mantuvo el húmedo clima tropical. Al norte del Ecuador se extendió una amplia zona de clima cálido y seco. En las partes meridionales de América, Australia y África, enormes extensiones se cubrieron de hielo. Veselov (1981).

Las nuevas condiciones climáticas repercutieron en la vida orgánica. Los anteriores bosques húmedos y frondosos, de criptógamas arborescentes, acostumbradas al calor (equisetáceas, helechos y licopodios), fueron cediendo lugar a las fanerógamas, que pasaron a ser plantas predominantes en el mundo vegetal. Las fanerógamas son plantas superiores, que a diferencia de las criptógamas se reproducen por medio de semillas. Las fanerógamas mostraron poseer considerables ventajas en comparación con las criptógamas. Estas ventajas consisten en que cada semilla está integrada por un embrión y una reserva de sustancias nutritivas.

Así, el embrión de las fanerógamas tiene asegurado el alimento: su desarrollo, después que la semilla cae al suelo, corre cierto tiempo a cuenta de las sustancias nutritivas acumuladas en la misma. Las primeras plantas fanerógamas fueron las gimnospermas, a las que pertenecen las cicádeas y coníferas. Las gimnospermas, a diferencia de las angiospermas, más perfectas, no dan frutos y sus semillas son desnudas. Veselov (1981).

Origen de las coníferas; extinciones marinas masivas, incluidos los últimos trilobites; florecimiento de reptiles y declinación de anfibios; los continentes se unieron en una masa terrestre: Pangea. Audesirk, T. (1998).

Trilobites, corales paleozoicos y braquiópodos comenzaron a extinguirse poco a poco. El clima seco obligó a muchas formas de estegocéfalos a abandonar la vida de anfibios y pasar definitivamente a la vida en tierra firme. Muchos anfibios del período carbonífero no resistieron las nuevas condiciones climáticas y desaparecieron.

Los anfibios cedieron lugar a los reptiles, aparecidos al final del carbonífero. Procedían de los anfibios que se adaptaban paulatinamente a la vida en tierra firme. Los reptiles representaban varias ventajas en comparación con los anfibios; las nuevas particularidades del cuerpo y desarrollo del embrión permitieron resistir el clima seco con pases bruscos del calor al frío y viceversa. Los reptiles ya no tienen la piel desnuda como la de los anfibios, sino que están cubiertos por una capa córnea bajo la cual en muchas especies existían placas óseas.

Gracias a ello su cuerpo no se deshidrató al hallarse fuera del agua. Los reptiles no se reproducían por medio de la huevo (masa oval que contiene los huevecitos) como los peces y los anfibios, sino poniendo huevos cubiertos de cáscara. Los huevos no necesitan agua, desarrollándose perfectamente en tierra firme. Veselov (1981).

Los reptiles del período pérmico dieron lugar a formas de transición entre ellos y los anfibios; la cotlasia, parecida a una lagartija grande con elementos de

rana, que alcanzaba 120 centímetros de longitud y se alimentaba de peces, fue típica.

Los reptiles más grandes de este período eran los pareiasaurios, cuyo cuerpo cubierto de una coraza de placas óseas alcanzaba los dos o tres metros de longitud.

A finales del período pérmico aparecieron entre los reptiles unos animales con rasgos característicos de mamíferos, por lo que se los llamó teriomorfos, desde donde una rama de los mismos derivó a los verdaderos mamíferos. Veselov (1981).

1.4 Era mesozoica

Es la “Edad Media” de la vida orgánica. Duró cerca de 115 millones de años, comenzando hace aproximadamente 185 millones y terminando hace alrededor de 70 millones de años. La particularidad principal de la era consiste en el excepcional florecimiento de los reptiles. Se multiplicaron enormemente, propagándose por toda la tierra, dando lugar a multitud de distintas formas: pequeñas, medianas, grandes y gigantescas. Unos reptiles vivían en tierra firme, otros se adaptaron al agua dulce y a los mares, pasando algunos a vivir en el aire porque adquirieron alas y aprendieron a volar.

La extraordinaria abundancia y diversidad de reptiles en la era mesozoica hace que se la denomine también la edad de los reptiles. Otro importante acontecimiento de esta era, que ha repercutido en la evolución del mundo orgánico, ha sido la aparición de las plantas angiospermas más desarrolladas, así como de aves y mamíferos más perfectos.

La era mesozoica se divide en tres períodos: triásico, jurásico y cretáceo (estos tres períodos han recibido la denominación general de secundarios).

1.4.1 Período triásico

Duró unos 35 millones de años. Lo separan de nuestra época 185 millones de años y terminando hace alrededor de 70 millones de años. Entre la vegetación de este período, el lugar principal corresponde a las plantas angiospermas (cicadáceas, coníferas, etc.). Las criptógamas superiores (helechos, etc.) se van relegando cada vez más a un segundo plano. Veselov (1981).

Origen de los mamíferos y los dinosaurios; bosques de gimnospermas y helechos arbóreos; empieza la separación de Pangea. Audesirk, T. (1998).

El mundo animal de los mares se distingue por la abundancia y diversidad de moluscos superiores, cefalópodos (Cephalopoda) –la misma clase de moluscos a la que pertenecen los actuales nautilos–, encontrándose también entre aquellos animales marinos pulpos y jibias. También abundaban las amonitas y belemnitas. En los mares había profusión de peces de esqueleto óseo y cartilaginoso, parecidos a los esturiones actuales. Veselov (1981).

Nautilo



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Los anfibios antiguos (estegocéfalos) se iban extinguiendo, cediendo lugar a distintos reptiles. Entre éstos, los más grandes adaptados a la vida en el agua merecen señalarse los ictiosauros y los pleseosaurios. Estos animales carecían de branquias, respirando por medio de pulmones, lo mismo que todos los animales terrestres, aunque pasaban la vida en el agua.

Los **ictiosaurios** eran enormes carnívoros marinos que alcanzaban 10 y 12 metros de longitud. Sus antepasados habían sido reptiles terrestres. Al observarse un ictiosaurio, salta a la vista la sorprendente analogía entre este animal y los tiburones (forma del cuerpo, aletas, etc.), la semejanza de la forma del cuerpo y la estructura de una u otras partes, de organismos de distinto origen (en este caso reptiles parecidos a peces), es consecuencia de la analogía de las condiciones de vida y se denomina **convergencia**.

Los **plesiosaurios** son también grandes carnívoros marinos que vivían en aguas próximas al litoral, alimentándose principalmente de peces, su aspecto exterior parece una combinación de serpiente y tortuga, alcanzando a veces cinco metros de longitud. Respiraban por medio de pulmones, teniendo que salir de tarde en tarde a la superficie para respirar el aire atmosférico.

Ictiosaurios y plesiosaurios aparecieron en el período triásico, alcanzando su máximo desarrollo en el jurásico y a comienzos del cretáceo, para extinguirse después paulatinamente. En aquel entonces los mamíferos no ocupaban todavía lugar importante en la naturaleza.

En los finales del triásico aparecen algunos mamíferos pequeños (del tamaño de la rata), próximos por su estructura a los marsupiales de nuestros días.

1.4.2 Período jurásico

Duró cerca de 40 millones de años; comenzó hace 150 millones y terminó aproximadamente hace 110 millones. En la flora terrestre predominaban entonces helechos y plantas gimnospermas (cicadáceas, coníferas, etc.). En las aguas de mares, ríos y lagos se propagaron ampliamente los peces de esqueleto óseo, desplazando a los que lo tenían cartilaginoso, más primitivo. Los reptiles ocuparon un lugar dominante entre los vertebrados terrestres favorecidos por un clima uniformemente templado y ligeramente húmedo, extendiéndose a todos los mares, tierra firme, agua y aire. Veselov (1981).

Dominio de los dinosaurios y las coníferas; origen de las aves; los continentes se separan parcialmente. Audesirk, T. (1998).

Entre los reptiles del jurásico cabe señalar numerosos y diversos tipos de **dinosaurios (lagartos terribles)**. Existían tanto dinosaurios pequeños como gigantes. En la mayoría de los casos eran grandes lagartos herbívoros. En la segunda mitad de la era mesozoica los dinosaurios alcanzaron el máximo desarrollo. Desaparecieron a finales del período cretáceo, debido a un brusco cambio de las condiciones de existencia, inducido al parecer por el enfriamiento terrestre que sucedió después de la colisión de un gran meteorito, tal vez a la altura de lo que ahora es la península de Yucatán, México. Tovar (2001).

Uno de los mayores dinosaurios de aquel tiempo fue el brontosauro, que alcanzaba 25 metros de longitud y 5 de altura pesando como mínimo 25 toneladas. Otro dinosaurio grande era el diplodoco, cuyo cuerpo alcanzaba 26 metros de longitud.

Muchos reptiles alados, llamados, “lagartos volantes”, ocupaban en el período jurásico los espacios aéreos. Se parecían a las aves, pero eran verdaderos reptiles que se habían adaptado al vuelo. La analogía de los lagartos volantes con las aves, particularmente con los murciélagos (forma del cuerpo, alas), viene a ser uno de los tantos ejemplos de coincidencia o convergencia. Veselov (1981).

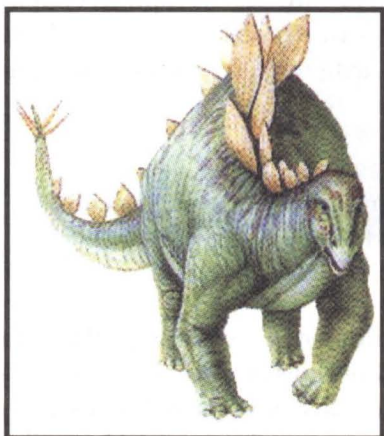
Entre los lagartos volantes, los más comunes eran los **pterosaurios** (terodáctilos) y los ranforíneos. Algunos no pasaban del tamaño de un gorrión,

mientras que otros tenían dimensiones gigantescas, en algunos terodáctilos la amplitud de las alas extendidas llegaba a 8 metros; fueron los mayores animales volantes de todos los tiempos.

Un terodáctilo de este tipo podía cubrir con el ala la mayor ave volante de nuestros días, por ejemplo, el cóndor de los Andes.

Para salvarse de los enemigos, algunos reptiles pasaron a vivir en árboles. Este grupo fue el que dio origen a las primeras aves, denominadas arqueoptérix, pequeño animal del tamaño de la paloma. Varios rasgos atestiguan que el arqueoptérix ocupa una posición intermedia entre los reptiles y las verdaderas aves. Veselov (1981).

Estegosauro acompañado de un allosaurio



Reconstrucción de un pantano jurásico



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

1.4.3 Período cretáceo

Es el último período de la “Edad Media” de la historia terrestre. Comenzó hace unos 110 millones de años; terminó hace 70 millones de años, durando cuarenta millones. Debe su nombre a las capas de tiza (**Creta**), constituidas sobre la base de las conchas calcáreas de los minúsculos animales marinos. Veselov (1981).

Aparecen y dominan las plantas con flores; extinciones masivas de la vida marina y parte de la vida terrestre, incluidos los últimos dinosaurios; los continentes modernos quedan bien separados. Audesirk, T. (1998).

Durante este período la vegetación sufre notables cambios, adquiriendo rasgos que ha conservado hasta nuestros días. Ya no dominan las criptógamas y gimnospermas sino las angiospermas. Aparecieron muchos géneros de plantas actuales: lirios, palmeras, ficoideas, hayas, robles, alisos, abedules, sauces, etc.

En el agua salada y dulce pasan a predominar los **peces teleósteos**, de esqueleto óseo, llegando a desplazar casi totalmente las formas antiguas de peces de esqueleto cartilaginoso. En la tierra firme ya no se alojan los anfibios antiguos, los animales más grandes se extinguen, no se conservan más que las especies próximas a las ramas contemporáneas a los tritones y a las salamandras de nuestros días. Se observa una evolución ulterior de reptiles, aves, insectos y mamíferos.

Los reptiles todavía no ocupan la situación dominante. Aparecen nuevos representantes de grandes dimensiones de esta clase: el anatosaurio o dinosaurio ornitorrinco, enorme animal herbívoro e inofensivo, y el triceratops, reptil de torpes movimientos parecido al rinoceronte, pero mucho más grande que él alcanzando hasta 8 metros de longitud. Su cabeza estaba dotada de dos potentes cuernos encima de los ojos y uno sobre la nariz.

Al lado de estos herbívoros inofensivos existían feroces lagartos carnívoros como el **tiranosaurio-rex** (el rey de los lagartos, el tirano), el más temible de todos los carnívoros que hayan existido en cualquier época de la tierra, tanto por las dimensiones y la fuerza, como por su “armamento”. Su longitud llegaba hasta 15 metros. Cuando el enorme saurio tomaba posición de combate, es decir, cuando se incorporaba sobre las patas traseras, llegaba a los 9 metros de altura. En este período seguían prosperando los lagartos voladores, entre ellos el **teranodón** con alas que llegaban a una dimensión de 5 a 8 metros. Veselov (1981).

En el período cretáceo aumentaban los mamíferos. Lo mismo que las aves, estos aparecieron en la tierra en el período jurásico, tal vez antes, posiblemente

en el triásico. Sus progenitores han sido los reptiles teriomorfos. Los primeros mamíferos eran animales pequeños del tamaño de las ratas actuales, no ocupando lugar importante en el cuadro general de la naturaleza.

Al final de la era mesozoica, así como después, a principios del período terciario de la era cenozoica, como consecuencia de los **procesos orogénicos** (formación y dislocación de la corteza terrestre) y de los considerables movimientos de la superficie, se produjeron notables cambios en las condiciones de vida en nuestro planeta, modificándose la configuración de los continentes, el clima y la vegetación. Todos estos cambios fueron desfavorables para los grandes reptiles ya que se habían adaptado a unas condiciones más o menos estables en virtud de los cambios experimentados por la vegetación; debido a las modificaciones del clima, muchos reptiles gigantes herbívoros se vieron privados de la suficiente cantidad de alimento, comenzando a extinguirse, lo que causó, a su vez, el hambre y la extinción de los reptiles carnívoros.

Los reptiles son animales de sangre fría, razón por la cual su cuerpo no posee temperatura propia, independiente de la temperatura del medio que lo rodea. La sangre fría hace que los reptiles dependan en gran medida del clima, de los cambios de temperaturas de día y de noche así como de los del invierno y el verano. Al bajar la temperatura se reduce la movilidad de los reptiles haciéndose más difícil la obtención de comida y la defensa contra el enemigo. En esas condiciones hasta los reptiles grandes y fuertes eran fáciles presas de los mamíferos carnívoros, más pequeños y más débiles, pero siempre activos y móviles, a pesar del frío, gracias a la sangre caliente.

1.5 Era cenozoica

Esta era, también denominada nueva, duró cerca de 70 millones de años. Se divide en dos períodos: terciario y cuaternario. Florecen angiospermas, aves y mamíferos.

1.5.1 Período terciario

Se inició hace 70 millones de años y duró 69 millones de años. La superficie terrestre adquirió la fisonomía actual. La evolución del mundo vegetal se distingue por el gran desarrollo de las **angiospermas**. Veselov (1981).

Gran abundancia de aves, mamíferos, insectos y plantas con flores; el deslizamiento lleva a los continentes a sus posiciones actuales; clima templado al principio del período con amplia formación de montañas y enfriamiento hacia el final. Audesirk, T. (1998).

Aparecieron los cereales comenzando el rápido desarrollo de hierbas anuales. Las plantas herbáceas ya existían en el período cretáceo, pero entonces eran pocas, apareciendo principalmente en las orillas de ríos y mares. En cambio, en este período, ocuparon las enormes extensiones de Siberia, Mongolia y el continente americano, desalojando la vegetación arbórea y dando lugar a las estepas.

Grandes cambios tuvieron lugar en la fauna acuática y terrestre. Pasan a ocupar un lugar importante entre invertebrados los gasterópodos y los moluscos bivalvos. Entre los vertebrados acuáticos salen a primer plano los tiburones y los peces teleósteos. Enormes reptiles mesozoicos desaparecen a finales del período cretáceo y a principios de este período terciario de la era cenozoica, sustituidos por aves y mamíferos, animales de **sangre caliente**, más adaptados a las nuevas condiciones ambientales.

Estos animales tenían ventajas indiscutibles en comparación con los reptiles: sangre caliente, un elevado desarrollo del sistema nervioso (principalmente del cerebro) y de los órganos de los sentidos, esqueleto y musculatura más perfectos, plumaje (en aves) y pelo (en mamíferos).

Tuvieron mucha importancia los modos perfeccionados de reproducción y cuidado de la descendencia. Así, las aves no ponen huevos en cualquier lugar, sino que construyen nidos para este fin, en los que incuban y crían a sus hijos. Sus padres los defienden de los enemigos y los educan.

En los mamíferos reviste mucha importancia que el embrión se desarrolle en el útero de la madre. Gracias a esto no sólo recibe constantemente del organismo materno todas las sustancias nutritivas indispensables, sino que se halla protegido de los enemigos y de las condiciones desfavorables por el cuerpo de la madre, la cual puede evitar los peligros, salvarse a sí misma de ellos y a la descendencia. Después de dar a luz, la madre cría con su propia leche a los pequeñuelos y los defiende de cualquier situación peligrosa. Veselov (1981).

Estas importantísimas adaptaciones contribuyen a la amplia difusión de mamíferos y aves, y al desalojamiento de los reptiles, que estaban menos adaptados.

En este período comenzaron a formarse los órdenes principales de aves y mamíferos, característicos de la fauna contemporánea. Por ejemplo, entre los **mamíferos** se destacaron los siguientes grupos: insectívoros, roedores, herbívoros (protoungulados), deuteracuáticos (ballenas) y primates (monos). Uno de los herbívoros típicos de aquel tiempo fue el **hiparión**, pequeño caballo de tres dedos. Este apareció a finales del período terciario en América del Norte, pasando luego a todos los continentes, excepto Australia y América del Sur. Las especies del hiparión eran en tamaño como el burro o el caballo y se extinguieron a finales del terciario. Entre los ungulados de este período cabe señalar el paleotrago, animal muy parecido a las jirafas contemporáneas. Veselov (1981).

Entre los demás mamíferos típicos del terciario cabe señalar el machairodo (o tigre dientes de sable), el indricoterio (o rinoceronte sin asta), el sibaterio (o jirafa búfalo), y los mamíferos proboscídeos (mastodonte y dinoterio). A finales del período aparecieron muchas variedades de monos antropomorfos, remotos antepasados del género humano. Uno de estos monos más desarrollados era el **driopiteco**: el mono de los árboles; es de suponer que los driopitecos fueron los antepasados por una parte de los monos actuales antropomorfos —el **gorila** y el **chimpancé**—, por la otra los antepasados más próximos del hombre.

1.5.2 Período cuaternario

Es el último período de la historia geológica de la Tierra, limitando con la época actual. Duró cerca de un millón de años. En éste no hubo grandes cambios en la disposición de océanos, continentes y montañas. Pero se distingue por otra particularidad importante: bruscos y periódicos cambios del clima bajo el efecto de las distintas causas cósmicas y biológicas, el clima del período cuaternario sufrió reiteradas y bruscas modificaciones. A las épocas templadas sucedían fríos tan intensos, que la parte septentrional de Europa, Asia y América del Norte se cubría de hielo. Se cuentan cuatro épocas glaciales, divididas por etapas templadas interglaciares.

Cada **época glacial** duró de 25.000 a 100.000 años, y la **interglacial** de 50.000 a 125.000. Los hielos de la última glaciación comenzaron a derretirse hace aproximadamente 25.000 años. Sin embargo, la tierra todavía no ha entrado en época efectivamente templada, ya que cerca de una décima parte de las porciones firmes está cubierta de hielo (principalmente la Antártida y Groenlandia).

El clima inestable del período cuaternario fue causa de sensibles modificaciones en los mundos vegetal y animal. Las zonas abarcadas por la glaciación fueron abandonadas por la flora y la fauna. Al avanzar el frío intenso, las formas árticas, acostumbradas a clima más templado, se desplazaron hacia el sur, desalojando las otras, que se extinguieron (el caso de muchos mamíferos gigantes) o se desplazaron a su vez hacia zonas más meridionales. Veselov (1981).

Por ejemplo, a causa del frío en la parte septentrional, y también en la media de Europa, Asia y América del Norte, desapareció la vegetación del período terciario acostumbrada al clima templado (palmeras, bejucos, magnolias, bambúes, nogales, etc.), muchos representantes de la fauna terciaria (varias especies de elefantes, rinocerontes, hipopótamos, monos, antílopes, ciervos, tigres de colmillos de sable, etc.) se extinguieron a causa del frío y de los cambios constantes de las condiciones de vida, así como debido a la modificación del mundo vegetal; en cambio adquirieron gran desarrollo las formas animales acostumbradas a bajas temperaturas

Los **mamíferos típicos de la época glacial** del cuaternario eran el mamut, el rinoceronte peludo, el ciervo de grandes cuernos de Islandia, el toro almizclero,

el lobo, el oso de las cavernas, el león de las cuevas, distintas especies de cabras, carneros y toros. Cuando vivían estos animales ya había aparecido el hombre: eran los contemporáneos del hombre primitivo; se inicia entonces la evolución del Homo. Audesirk, T. (1998).

Bosque pantanoso del período carbonífero



Las plantas en forma de árbol son helechos arbóreos y licopodios gigantes, casi extintos en la actualidad. Observe la libélula en el centro de la parte inferior; algunas tenían envergaduras poco más de medio metro a un metro. Tomado de Audesirk, T. y Audesirk, G., 1998.

En el siguiente cuadro podemos observar, de una forma aún más resumida, los cambios existentes durante los diferentes períodos de la configuración de la Tierra:

ERA	PERIODO	LÍMITES TEMPORALES		FORMAS DE VIDA ORIGINADAS
		ÉPOCA	APROXIMADOS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente u holoceno	10.000	Seres humanos
		Pleistoceno	2.500.000	
	TERCIARIO	Plioceno	12.000.000	Mamíferos rumiantes y carnívoros
		Mioceno	26.000.000	
		Oligoceno	38.000.000	
		Eoceno	54.000.000	
		Paleoceno	65.000.000	
MESOZOICO	Cretácico		136.000.000	Primates - Plantas con flor
	Jurásico		195.000.000	Aves
	Triásico		225.000.000	Dinosaurios - Mamíferos
PALEOZOICO	Pérmico		280.000.000	Reptiles - Bosques de helechos
	CARBONÍFERO		320.000.000	
			345.000.000	
	Devónico		395.000.000	Anfibios - Insectos
	Silúrico		430.000.000	Plantas terrestres vasculares
	Ordovícico		500.000.000	Peces - Cordados
	Cámbrico		570.000.000	Crustáceos - Trilobites
	PRECÁMBRICO		700.000.000	Algas
			1.500.000.000	Células eucarióticas
			3.500.000.000	Células procarióticas
			4.650.000.000 +	Formación de la Tierra

Resumen

a) Diversidad y evolución

Hemos visto un doble aspecto de manifestaciones naturales: la infinita variedad de la vida orgánica y la armonía de animales y plantas con las condiciones de existencia. Estas dos particularidades de la naturaleza no han surgido de improviso, sino como resultado del desarrollo histórico (**evolución**) de la vida en la tierra en el curso de muchos millones de años.

b) Árbol genealógico de la vida

Los seres más simples, surgidos de la sustancia proteínica, han sido organismos precelulares: cada uno de ellos era un simple corpúsculo de proteína, desprovisto de núcleo y membrana pero dotado de la facultad de metabolismo en su recambio de sustancias con el medio. La etapa siguiente del desarrollo de la vida está representada por seres unicelulares: células que en su protoplasma llevan citoplasma, núcleo y membrana. El árbol genealógico de la vida se divide en dos grandes troncos: vegetal y animal.

El desarrollo siguió cambios distintos; principalmente con arreglo al modo de nutrición. Unos organismos unicelulares se adaptaron a la asimilación de sustancias inorgánicas, mediante la fotosíntesis: eran las primeras plantas unicelulares. Otros seres de una célula sólo podían alimentarse de sustancias orgánicas ya hechas: eran los primeros animales unicelulares.

A partir de esta etapa, el mundo vegetal y el mundo animal se desarrollaron cada uno por su cuenta aunque dependiendo recíprocamente entre sí.

c) El árbol genealógico del mundo vegetal

El desarrollo del mundo vegetal comenzó, fundamentalmente, por las algas unicelulares clorofíceas. Por lo visto, estas mismas algas han dado lugar a vegetales inferiores, que han perdido la capacidad de fotosíntesis: bacterias y hongos unicelulares y pluricelulares. Ocupan un lugar particular **líquenes**, procedentes de los hongos, pero capaces de efectuar la fotosíntesis ya que llevan en su cuerpo algas poseedoras de clorofilas (el líquen está formado por la reunión de un alga y un hongo).

De las algas unicelulares proceden las pluricelulares. Algunas de estas últimas se adaptaron a la vida en tierra firme y formaron el grupo correspondiente (**Psilofitas**). Otras dieron lugar a las plantas superiores. Ante todo aparecieron las distintas **plantas esporofitas o criptógamas** (musgos, equisetáceas, licopodios y helechos). Las criptógamas dieron lugar a las fanerógamas. Al principio aparecieron las **gimnospermas**, plantas de semillas desnudas, y luego surgió el tipo superior de organismos vegetales, de elevada organización: las plantas **angiospermas** o plantas de flores.

d) El árbol genealógico del mundo animal

La rama más antigua del mundo animal es la de los protozoarios o protozoos, animales unicelulares. Se considera que los progenitores de todos los protozoos han sido unos seres unicelulares parecidos a la ameba. Estos han dado lugar a otros protozoarios (distintas sarcodinas, así como flagelados, esporozoos e infusorios).

Los flagelados se hallan precisamente en la **divisoria que separa el mundo animal del mundo vegetal**. Es posible que el mundo vegetal haya partido de los flagelados antiguos. En algunos flagelados, durante la reproducción por división, los individuos femeninos no se separan, se quedan juntos formando colonias.

Los celentéreos dieron lugar a dos grandes ramas del mundo animal. De una rama partieron varios tipos de animales: los gusanos (platelmintos, nematelmintos y anélidos), los moluscos y los artrópodos (crustáceos, arácnidos e insectos). La otra rama grande está representada por dos tipos: equinodermos (erizos de mar, estrellas de mar, ofiuros, lirios de mar y holoturias) y cordados (a los que pertenecen todos los animales vertebrados).

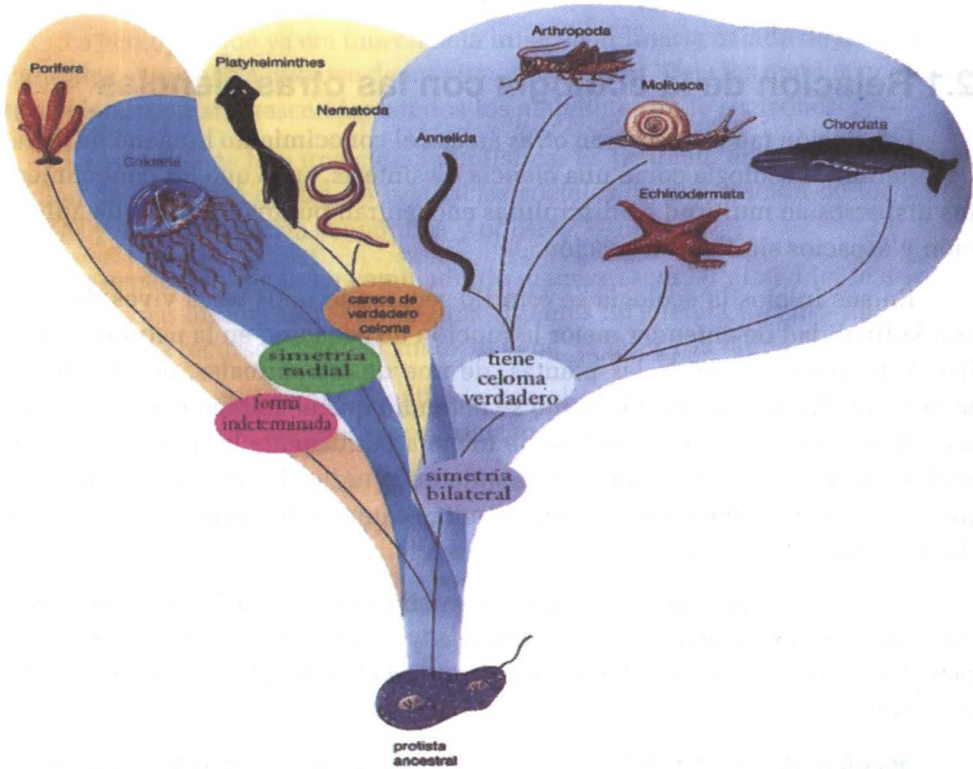
Los primeros vertebrados han sido los ostracodermos, animales parecidos a los peces sin mandíbulas. De estos proceden los primeros animales con mandíbulas: los peces remotos. La clase de los peces se distingue por una gran diversidad (tiburones, esturiónidos, dipnnos, crosopterigios, teleósteos, etc.). Un papel particular en la evolución de los vertebrados pertenece a los crosopterigios antiguos, que dieron lugar a los estegocéfalos, primeros anfibios. Los estegocéfalos fueron progenitores, no sólo de anfibios contemporáneos, sino también de los reptiles, vertebrados de tierra firme. Ciertos reptiles teriomorfos pequeños dieron lugar a los primeros mamíferos. Los antiguos reptiles, que planeaban de una rama a otra, dieron origen a las primeras aves.

e) La unidad del mundo orgánico

Las propiedades fundamentales de la vida son análogas tanto en **plantas** como en **animales**. Estas propiedades son: el metabolismo que prepara el recambio de sustancias con el medio (nutrición, respiración y eliminación), la excitabilidad, la capacidad de reaccionar a los estímulos exteriores, el desarrollo, el crecimiento, la herencia, y la variabilidad o transformismo. Veselov (1981).

La consecuencia inevitable de estas propiedades es el desarrollo histórico de plantas y animales. Este proceso tuvo como resultado que en el curso de muchos millones de años haya surgido, a partir de las minúsculas gotas de sustancia viva, la enorme diversidad de plantas y animales contemporáneos, cuya cifra se calcula en 30 millones de especies en la actualidad, según predicciones científicas. Tovar (2001).

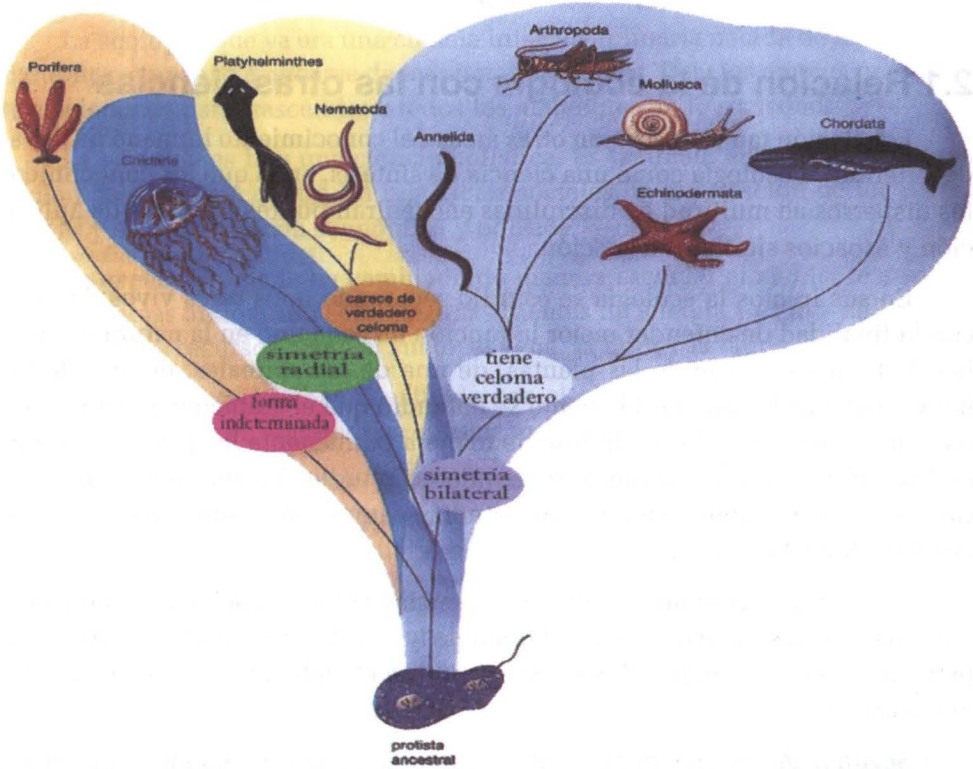
Esquema simple para la clasificación de los animales



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Este esquema de clasificación se basa en las características anatómicas. Los animales muestran tendencias evolutivas desde una forma no determinada hacia la simetría radial, hacia la simetría bilateral. Los animales con simetría bilateral forman grupos: los más sencillos carecen de la cavidad corporal, llamada celoma, mientras que los phyla más complejos tienen un celoma.

Esquema simple para la clasificación de los animales



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Este esquema de clasificación se basa en las características anatómicas. Los animales muestran tendencias evolutivas desde una forma no determinada hacia la simetría radial, hacia la simetría bilateral. Los animales con simetría bilateral forman grupos: los más sencillos carecen de la cavidad corporal, llamada celoma, mientras que los phyla más complejos tienen un celoma.

2. Historia de la ecología como ciencia integradora

2.1 Relación de la ecología con las otras ciencias

La relación tan estrecha con otras áreas del conocimiento humano ha llevado a definir la ecología como una ciencia de síntesis, en la que los conocimientos dispersos en multitud de disciplinas encuentran puntos comunes de aplicación y espacios similares de acción.

En sus inicios la ecología se estudió separando unos seres vivos de otros con la finalidad de entender mejor la función de cada uno en la naturaleza y se habló de una ecología de las plantas, de una de los animales, de otra de los mares, etc. Por fortuna rápidamente se entendió que el ambiente es uno solo y que en él conviven relacionándose de manera permanente las plantas, los animales y el hombre y, por tanto, si se quieren estudiar las relaciones entre los individuos y su ambiente no pueden estudiarse unos seres independientemente de otros, Rizo, G. (1993).

Del estudio separado se encargan ciencias como la zoología, la botánica, que analizan las características anatómicas y fisiológicas de esos individuos, pero sin desconocer el papel decisivo que juega el ambiente en su crecimiento, desarrollo, etc.

Según la manera como encaremos el estudio de esas relaciones, la ecología se divide en **autoecología**, cuando se busca explicar la forma como los factores ambientales o abióticos y los demás organismos vivos o factores bióticos actúan sobre una especie considerada aisladamente. Así un estudio ecológico que pretende identificar las variables ambientales que determinan el sitio de habitación del conejo, será un estudio autoecológico.

Si lo que se busca es determinar cuáles son los factores bióticos y abióticos que actúan sobre un conjunto de especies diferentes, ese estudio será **sinecológico**, por ejemplo, los estudios realizados sobre los páramos o sobre las selvas húmedas son de este tipo. En ellos no se hace alusión a una determinada especie, sino al conjunto de ellas en un lugar determinado. Rizo, G. (1993).

2.2 Objeto de la ecología como ciencia de la actualidad

La ecología es una ciencia nueva. Más reciente aún es su trascendencia social. Hasta los años sesenta la ecología fue una preocupación exclusiva de naturalistas interesados en las relaciones entre los organismos y su medio ambiente.

Hacia finales de los años sesenta la ecología **“ganó la calle”** y se transformó. Pasó a ser una ciencia de moda, se generó un movimiento de opinión en torno a los peligros que amenazan la biosfera y con ello la propia existencia humana.

La ecología, que ya era una ciencia interdisciplinaria nacida de las ciencias naturales, comenzó a nutrirse de las ciencias sociales. Deja los marcos puramente académicos para trascender a todos los ambientes de la sociedad.

La ecología es hoy una ciencia holística. Es también, en cierto modo, una acción de denuncia contra las injusticias sociales, la explotación de los países pobres y su dependencia económica y política.

La especie humana ha cambiado de manera esencial el ambiente a escala global, gracias al dominio sobre algunas fuentes de energía y al uso indiscriminado de otros recursos como el suelo, el agua, la flora y la fauna.

Las alteraciones se han acentuado con el crecimiento de la población y la industrialización; en algunos casos, estas modificaciones han sido irreversibles.

La ecología ha adquirido como objeto de estudio su particular importancia como fundamento científico para un compromiso individual y colectivo en beneficio de las generaciones actuales y futuras.

En los últimos años la ecología se ha transformado y enriquecido, adquiriendo una nueva dimensión, contribuyendo a ello las ciencias sociales, la tecnología, las ciencias exactas y las naturales. Rizo, G. (1993).

2.3 La ecología: entre ciencias naturales y sociales

La ecología comenzó a definirse como ciencia cuando los filósofos y científicos del siglo XIX ubicaron al hombre como un integrante más de la biosfera, pues así como no es posible concebir a los animales y vegetales sin su ambiente, tampoco se puede considerar al hombre sin su medio ambiente humano. Oliver (1981).

Prenant (1940) citado por Oliver (1981) comenta que “la gran revolución biológica, que puede resumirse casi en el nombre de Darwin, ha colocado al hombre en su verdadera posición, la del último producto de la energía solar, obrando sobre los elementos químicos particulares de un planeta en movimiento”. ¿Puede pedirse una más correcta ubicación ecológica del hombre?

Las relaciones del hombre con la naturaleza se han ido modificando a lo largo de su evolución. La vida del hombre de Neandertal o de Cromagnon estuvo mucho más expuesta a los efectos de los factores ambientales que la del hombre moderno. Oliver (1981).

Se puede decir que existía una mayor relación ecológica entre el hombre y la naturaleza. Durante milenios fue recibiendo el impacto del clima y de sus

vinculaciones con los demás seres. Su capacidad de raciocinio le permitió ir conformando su propio hábitat; fue modificando sus modalidades de vida y alterando paulatinamente la naturaleza. En algunos casos lo hizo con racionalidad, en muchísimos otros ha propiciado su ruina (Oliver, 1981).

Para ubicar la ecología en el contexto de las ciencias biológicas se debe partir de los niveles de organización de la materia viva (ver figura en la página 38). Las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas ocupan los niveles de organización más avanzados y es atributo de la ecología estudiarlos.

Se la puede definir entonces como la *biología de los ecosistemas*. O dicho de otro modo, como el estudio de la estructura y el funcionamiento de la naturaleza, o lo que es lo mismo, el estudio de la dinámica y evolución de las comunidades naturales. Pueden por lo tanto diferenciarse en la ecología tres ramas básicas: *dinámica de poblaciones*, *estructura de comunidades* y *funcionamiento de ecosistemas*. Oliver (1981).

La primera definición de *ecosistema* correspondió al botánico inglés Tansley (1935) citado por Oliver (1981), quien lo consideró como “un sistema total que incluye no sólo los complejos orgánicos sino también al complejo total de factores que constituyen lo que llamamos medio ambiente”. En 1944 el académico y botánico soviético Vladimir N. Sukachov utilizó el término *biogeocenosis* para definir el complejo de interacciones naturales que existen entre las comunidades vegetales (fitocenosis), el mundo animal que las habita y la correspondiente parte de la superficie terrestre con las propiedades particulares de la atmósfera (microclimas), la constitución geológica, los suelos y el régimen hidrológico. Oliver (1981).

Si se observa la imagen de la tierra desplazándose como una nave espacial en el cosmos, y se recuerda la protección y aislamiento que le brindan las distintas capas atmosféricas, se tendrá definido un gran ecosistema.

La vida es posible en la tierra por una considerable cantidad de agua líquida por interfases entre los estados líquido, sólido y gaseoso, y por la energía solar. Es decir, que nuestro planeta es un inmenso ecosistema llamado *biosfera*, término utilizado por el geoquímico ruso Vladimir Vernadsky para englobar las zonas que han sido colonizadas por los seres vivos: “partes adyacentes de la corteza terrestre, el agua de los ríos, los mares y los océanos (hidrosfera) y la troposfera”.

La biosfera no es uniforme ni mucho menos. La distribución de la vida depende de las condiciones reinantes en cada situación determinada: regiones tropicales húmedas, desiertos, altas montañas, fosas oceánicas, casquetes polares, aguas continentales polihalinas, etc. Es así como la biosfera puede dividirse en ecosistemas principales y éstos en ecosistemas subordinados.

Se ha hecho referencia que los ecosistemas están integrados por *comunidades* (también reciben el nombre de *biocenosis*). Éstas se definen como la suma de

las poblaciones animales y vegetales que viven en un área definida llamada *biotopo*. Esas poblaciones se hallan íntimamente vinculadas entre sí por razones de competencia o de complementación (epibiosis, depredación, comensalismo, simbiosis, parasitismo). Su dinámica depende de los cambios que se operen en cada una de las poblaciones que la integran.

Se ha dicho que las comunidades son una superposición de *poblaciones*. En ecología éstas se definen como un conjunto de organismos de una misma especie que ocupan un área definida, por lo que se dan posibilidades de interfecundación entre los individuos. La población posee una dinámica propia que depende de los ciclos biológicos de la especie (fecundidad, natalidad, mortalidad, crecimiento). Oliver (1981).

Para un análisis correcto de la ubicación del hombre en la biosfera se hace necesario diferenciar entre lo que es el medio ambiente que rodea a las poblaciones naturales y el medio ambiente humano. Es que a los factores de orden físico que envuelven a las primeras se les suman, en el caso del hombre, factores de orden económico y cultural: “mientras los animales tienen sólo un *ambiente* los hombres poseen un *ambiente-artefacto*” que es de naturaleza instrumental (Strong, 1975, citado por Oliver, 1981).

Ese ambiente ha sido conformado por la cultura, que al decir de Maldonado es “un tejido de utensilios-artefactos y de símbolos-artefactos, recíprocamente dependientes y condicionantes”. Otro tanto ha querido significar Maurice Strong (citado por Oliver, 1981), cuando afirmó que “el medio ambiente humano comprende todos los aspectos de la actividad del hombre, que modificado el sistema ecológico natural del que forma parte, afecta a su vida y a su bienestar”. Oliver (1981).

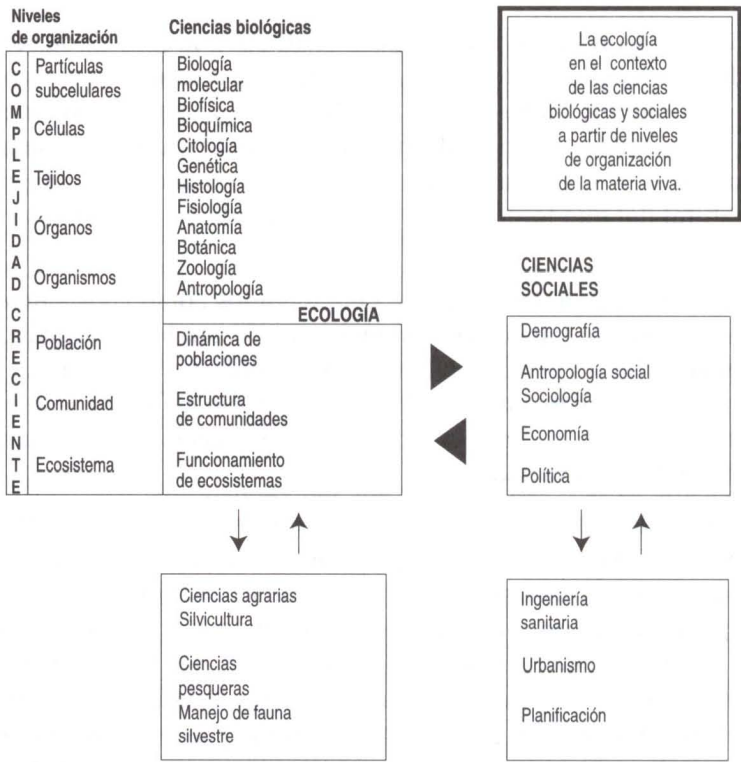
Los ambientes humanos deben ser considerados como ecosistemas subordinados a la biosfera. Se trata de ecosistemas que afectan la estabilidad, y aun la misma existencia, de los ecosistemas vecinos, debido a que provocan cambios sustanciales, en ciertos casos irreversibles, en el medio ambiente (generación de contaminantes, cambios microclimáticos, etc.). Este accionar no es atributo de los otros subsistemas ecológicos.

Es así como la ecología se ha transformado en una ciencia de notables implicaciones económicas, sociales y políticas. Ha dejado de ser una actividad exclusiva del biólogo naturalista. Más bien le otorga a éste una nueva dimensión en sus trabajos de investigación al acercarlo a la dinámica propia de la sociedad. La ecología moderna según Dansereau (1977), citado por Oliver (1981), “no es ecología a menos que conciba medios para percibir toda la complejidad de un espacio ocupado (temporal o permanentemente) por organismos vivos (incluyendo el hombre); a menos que pueda proporcionar una concepción integral del conjunto dinámico; y a menos que pueda situar las partes en su verdadera relación con cada una de las demás y con el total”.

No es aconsejable, por lo tanto, amalgamar la *ecología de los ecosistemas naturales* con la *ecología de los sistemas humanos*; menos aún la ecología de las poblaciones naturales con la ecología de las poblaciones humanas, si bien es cierto que existen algunos patrones de funcionamiento que les son comunes. Las leyes que rigen la dinámica de las comunidades naturales no son las mismas que las que rigen a las comunidades humanas. Mientras que las primeras son leyes naturales, las segundas son leyes socioeconómicas creadas por los propios hombres.

Es esta línea de pensamiento la que ha llevado a Maldonado (1972), citado por Oliver (1981), a considerar que “la construcción del medio ambiente humano es inseparable de nuestra autorrealización como hombres”.

Josué de Castro (1972) ha sintetizado este pensamiento al decir que “un análisis correcto del medio debe abarcar el impacto total del hombre y de su cultura sobre los restantes elementos del contorno, así como el impacto de los factores ambientales sobre la vida del grupo humano considerado como totalidad. Desde este punto de vista el medio abarca aspectos biológicos, fisiológicos, económicos y culturales, todos ellos combinados en la misma trama de una dinámica ecológica en transformación permanente” (Oliver, 1981).



2.4 Síntesis histórica de la ecología

Las raíces más antiguas de la ecología están asociadas al proceso de la evolución del hombre, pues desde sus primeros albores la humanidad manejó relaciones básicas y elementales que permitían que se abasteciera de alimentos.

Podríamos decir que la ecología se inicia con las observaciones que sobre el tema hicieron los griegos, y particularmente Hipócrates, Aristóteles y otros filósofos, quienes no utilizaron un término para definirla.

Aportan también a la conformación de la ecología como ciencia, las observaciones de botánicos y naturalistas del Renacimiento y de los siglos XVIII y XIX, las cuales permitieron conformar el cuerpo básico de esta ciencia.

Definida y enmarcada la ecología entre las ciencias naturales y las ciencias sociales, resulta útil recordar algunos de los hechos más importantes que han ido conformando el pensamiento ecológico actual:

1798 Se publican las primeras teorías acerca de Demografía, gracias al sacerdote y economista inglés Thomas R. Malthus (1766-1834).

1805 El naturalista y geógrafo alemán Alejandro von Humboldt (1769-1859) sienta las bases de la Biogeografía Ecológica.

1809 El naturalista francés y padre del transformismo, Juan Bautista Lamarck (1744-1829), expone sus hipótesis sobre las adaptaciones animales al medio ambiente.

1842 Se publica "The Structure and distribution of coral reefs", estudio eminentemente ecológico del naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882), que juntamente con sus observaciones sobre lombrices de tierra y orquídeas, adelanta muchos conceptos que nutrirían las ciencias ecológicas.

1859 Aparición de la obra cumbre del mismo Charles Darwin, *El origen de las especies*, en la que sienta las bases científicas de la evolución y de las modernas ciencias naturales.

1867 Se publica *El Capital* de Karl Marx (1818-1883), filósofo, sociólogo y economista alemán, obra básica del pensamiento filosófico que sustenta el socialismo científico y en la que se encuentran referencias a la esencia de la ecología social.

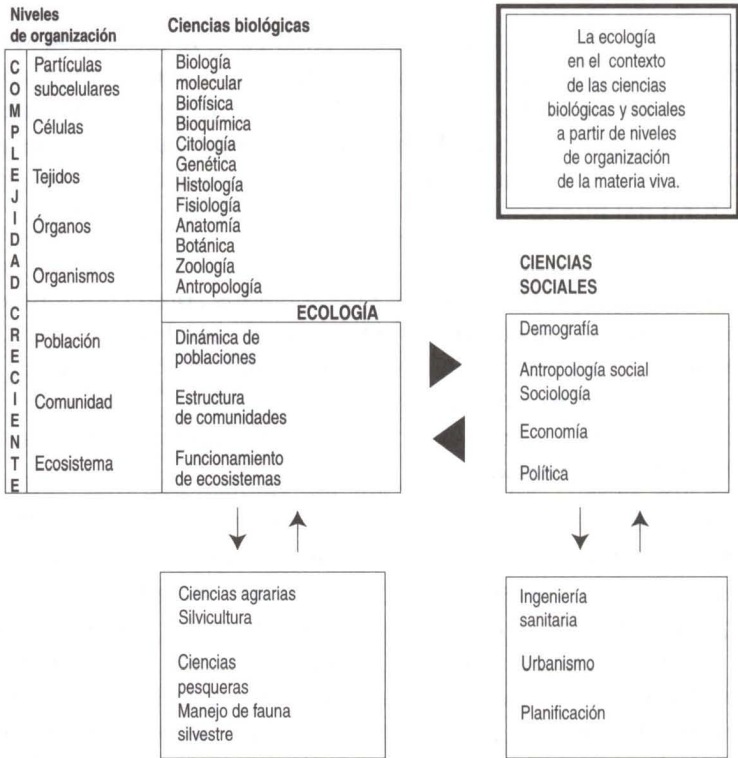
1869 El biólogo alemán Ernesto Heckel (1834- 1919) introduce en la terminología científica el vocablo Oekologie (del griego Oikos=casa) que utiliza para designar el estudio de las relaciones de un organismo con su medio ambiente.

1877 El biólogo alemán Karl A. Mobius (1825-1908) define la **biocenosis** (también llamada **comunidad**) como a un conjunto de organismos que dispone

No es aconsejable, por lo tanto, amalgamar la *ecología de los ecosistemas naturales* con la *ecología de los sistemas humanos*; menos aún la ecología de las poblaciones naturales con la ecología de las poblaciones humanas, si bien es cierto que existen algunos patrones de funcionamiento que les son comunes. Las leyes que rigen la dinámica de las comunidades naturales no son las mismas que las que rigen a las comunidades humanas. Mientras que las primeras son leyes naturales, las segundas son leyes socioeconómicas creadas por los propios hombres.

Es esta línea de pensamiento la que ha llevado a Maldonado (1972), citado por Oliver (1981), a considerar que “la construcción del medio ambiente humano es inseparable de nuestra autorrealización como hombres”.

Josué de Castro (1972) ha sintetizado este pensamiento al decir que “un análisis correcto del medio debe abarcar el impacto total del hombre y de su cultura sobre los restantes elementos del contorno, así como el impacto de los factores ambientales sobre la vida del grupo humano considerado como totalidad. Desde este punto de vista el medio abarca aspectos biológicos, fisiológicos, económicos y culturales, todos ellos combinados en la misma trama de una dinámica ecológica en transformación permanente” (Oliver, 1981).



de lo necesario para su crecimiento y su continuidad, tomando como ejemplo un banco de ostras.

1878 Se publica *Anti-Duhring*, una de las obras más importantes del filósofo y economista alemán Friedrich Engels (1820-1895), en la que se analizan problemas teóricos de las ciencias naturales, desde el punto de vista del materialismo dialéctico, en los que se sustentan los principios dinámicos y evolutivos de la naturaleza. Su *Dialéctica de la naturaleza*, escrita entre los años 1875-1882, en la que se reafirman esos principios, quedó inconclusa y fue publicada por primera vez en 1925.

1879 El biólogo danés Víctor Hensen (1835-1924) comienza las investigaciones sobre el plancton marino, como forma de establecer un balance en la producción de los mares. En ese mismo año, Antón Dohrn (1840-1909) funda la Estación Zoológica de Nápoles.

1892 Se publica la obra del naturalista inglés H.W. Bates (1825-1892) *La naturaleza del río Amazonas*, en la que se fundamentan los principios de la biogeografía evolutiva y conceptos tales como **mimetismo**.

1892 Se inicia la publicación de Le Leman: *Monographie limnologique*, que concluiría en 1904, del limnólogo suizo Francois A. Forel (1841-1912) que resulta ser la primera síntesis ecológica de un cuerpo de agua dulce.

1912 Como resultado de las grandes campañas oceanográficas del buque de investigaciones inglés "Challenger", el oceanógrafo John Murray (1841-1914) publica una de las obras clásicas de la oceanografía: *The depths of the ocean*.

1926 Vito Volterra (1860-1940), matemático italiano, funda la base bioestadística necesaria para la interpretación de la dinámica de las poblaciones.

1926 Vladimir I. Vernadsky (1863-1945), fundador de la geoquímica rusa, pronuncia una serie de conferencias en las cuales utiliza el término **biosfera** para designar la superficie terrestre que ha sido colonizada por la vida.

1927 Se publica la primera edición de *Fitosociología* del botánico y ecólogo suizo Josias Braun-Blanquet, nacido en 1884. Se trata de un texto teórico de gran trascendencia en el desarrollo de la geobotánica. Su tercera versión fue publicada en 1964.

1935 Se publica la obra del ecólogo inglés Charles S. Elton *Ecología animal*, que resulta clásica en los conocimientos ecológicos.

1935 El botánico inglés Arthur. G. Tansley (1871-1955) introduce el término **ecosistema** para definir las relaciones dinámicas entre las comunidades y su ambiente.

1942 Aparece el libro *El océano*, del oceanógrafo y expedicionario noruego Helad U. Sverdrup (1888-1957) y colaboradores, obra clásica en el estudio ecológico de los océanos.

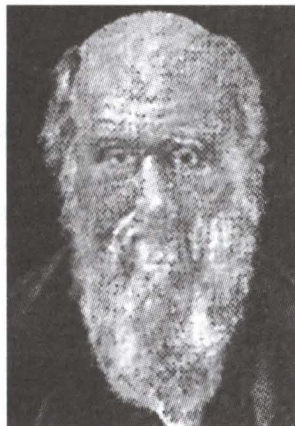
1943 El fitosociólogo ruso Vladimir N. Sukachov (nacido en 1880) utiliza el término **biogeocenosis** para designar a las fitocenosis junto al mundo animal que las habita y el medio físico que las rodea.

1959 Eugene P. Odum (nacido en 1919), ecólogo norteamericano publica la primera versión de *Fundamentos de la Ecología*, obra que en sucesivas ediciones desarrolla y fundamenta los principios de la ecología energética.

1974 Ramón Margalef, español nacido en 1919, limnólogo y oceanólogo, da a conocer su *Tratado de Ecología*, la obra más importante que se haya realizado en idioma castellano y que resume los principios básicos de la ecología moderna a la cual él mismo ha contribuido con importantes aportes teóricos.



Alexander von Humboldt



Charles Darwin

La primera vez que el término ecología es definido y utilizado fue en 1869, por parte del biólogo alemán Ernest Heinrich Haeckel (1834–1919), quien la entiende como el estudio de las relaciones de un organismo con su ambiente inorgánico y orgánico.

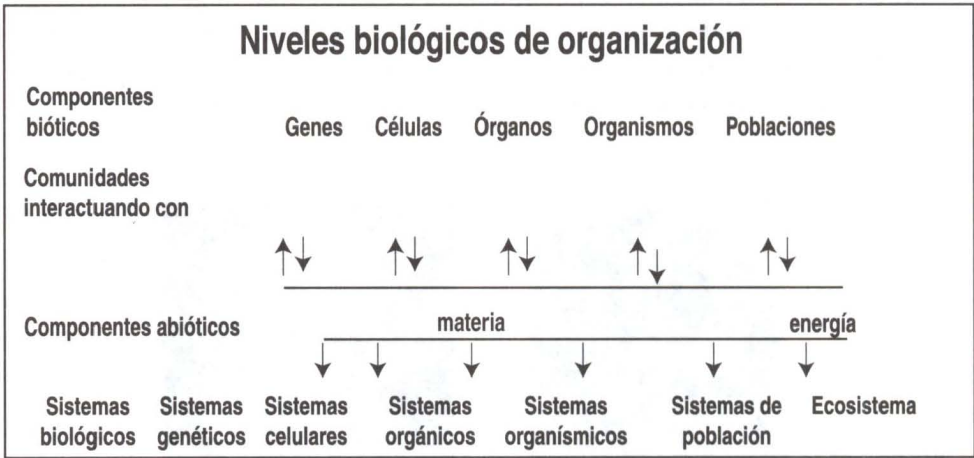
Etimológicamente la palabra ecología se deriva de *oekologie*, que a su vez se divide en **oikos** = **casa** o lugar donde se vive y **logos** = **tratado**, es decir, el tratado del lugar en que se vive.

Odum (1983) expresa que la ecología es el estudio de la estructura y función de la naturaleza, y que es la “**Biología del Medio**”.

Cada ciencia estudia la naturaleza a partir de un nivel que le es propio; la ecología se interesa por un nivel mayor cuya delimitación trata con unidades de vida de múltiples elementos que interactúan entre sí. Rizo (1993).

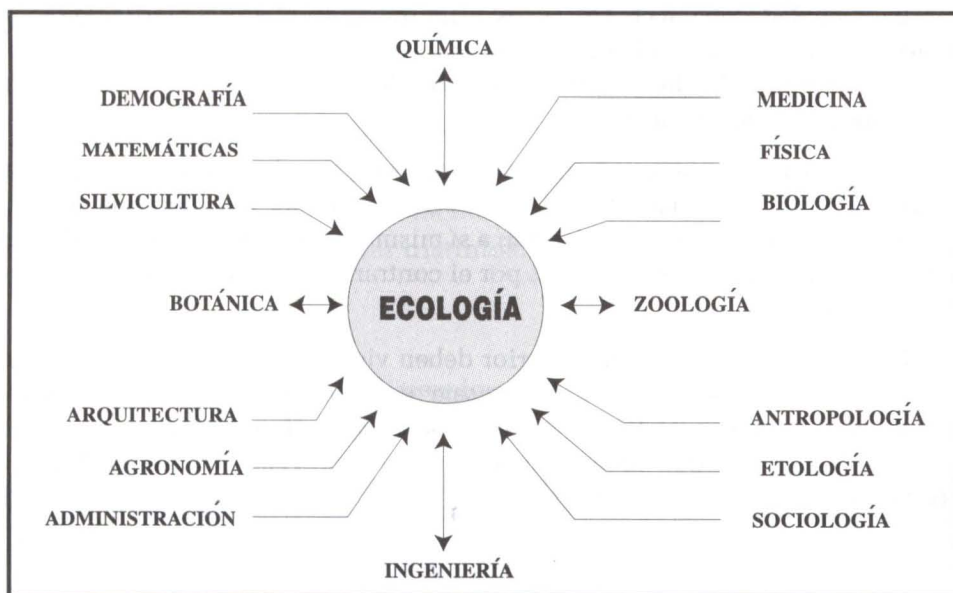
Los factores abióticos y el conjunto de interacciones de una especie con su entorno biótico conforman su denominado **nicho ecológico**.

La ecología centra su atención fundamentalmente en el estudio de las relaciones que tienen grupos de individuos de una misma o de diferentes especies con el medio ambiente en que viven. Los niveles de organización biológica inferiores a los organismos son objeto de estudio de otras áreas dentro de la biología.



Tomado de Odum, 1993

De la gráfica anterior hay que decir que el área de interés de la ecología se sitúa a partir de los organismos hacia la derecha, lo cual no significa que se desconozcan los valiosos aportes que las otras áreas de la biología dan a la ecología y que permiten comprender mejor las relaciones que ella estudia.



Tomado de Rizo, 1993

Aportan también a la conformación de la ecología como ciencia otra serie de conocimientos diferentes de los puramente biológicos, provenientes de ciencias como la física, la química, la botánica, la zoología, la climatología y la agronomía, entre otras, presentándose relaciones muy cercanas con áreas del conocimiento, como la economía, la antropología, la arquitectura, la silvicultura, etc., que se sirven de los conocimientos que ella crea. Rizo, G. (1993).

La ecología es una ciencia de síntesis, gracias a la cual el hombre puede identificar perfectamente cuáles son aquellos factores que sostienen esa dinámica al interior de la naturaleza y que en últimas es responsable de la complejidad que la caracteriza, de la que este recién llegado *Homo sapiens* no puede abstraerse.

Merced a los graves cambios inducidos por una errática conducta humana, esa dinámica viene siendo peligrosamente intervenida y de ahí se están derivando todas aquellas patologías socio-ambientales que tipifican una naturaleza débil, enfermiza y sorprendentemente cambiante en detrimento de la estabilidad que se pierde en la medida en que se la sigue agrediendo sin llegar a considerar siquiera los graves efectos que inhiben la supervivencia planetaria.

Por estos motivos la enseñanza de la ecología cobra la mayor importancia, para que las generaciones actuales y venideras no cometan los mismos errores de aquéllas que transitaron por la vida sin darse cuenta de que no estaban solas y que lo hicieron desarrollando toda clase de acciones carentes de sentido conservacionista, por lo que su tiempo se acortó y entonces su caminar fue inadvertido. Tovar, J. (2001).

La sociedad debe acercarse a los principios orientadores de modelos de desarrollo que involucren la dimensión ambiental, siendo entonces muy pertinente el denominado **Desarrollo Sostenible**, del cual se viene tratando desde principios de la década del 90.

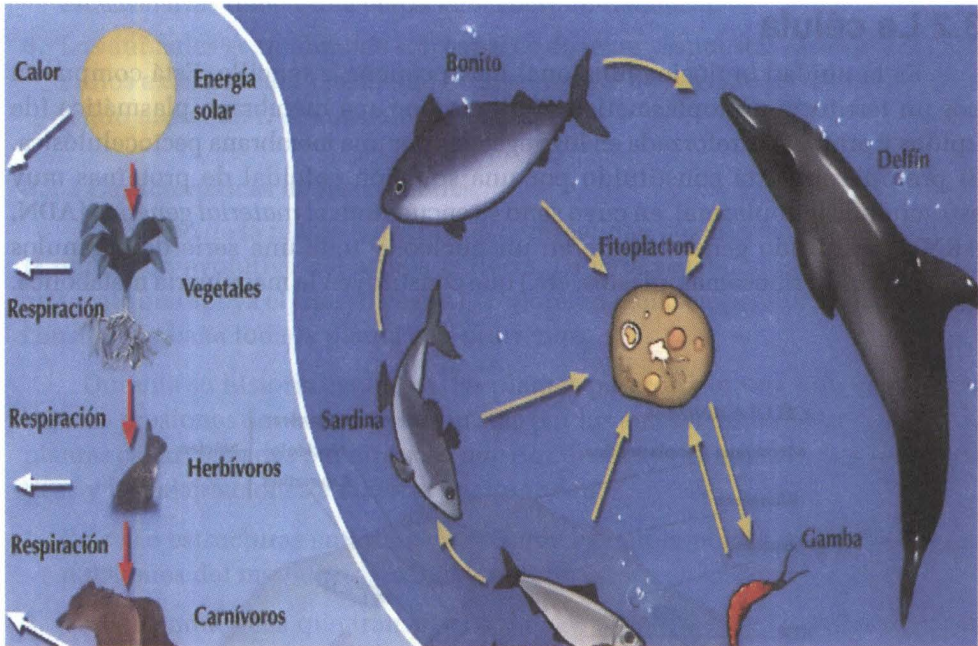
La ecología no puede ser tomada como una simple “moda”, que atrae a muchos adeptos que enarbolan discursos adornados en la hipocresía o en el interés mezquino de quienes se llaman a sí mismos conocedores de la verdad en materia del devenir natural, el cual, por el contrario, es lo más complejo que se pueda conocer.

Los centros de educación superior deben vigilar la concepción de programas que permitan dar a conocer un mensaje real sobre el acontecer de ese devenir planetario, en aras de formar profesionales que independientemente de su campo de acción, puedan andar bajo la senda de la previsión ecológica. Tovar, J. (2001).

3. Niveles de organización en ecología

La ecología observa la naturaleza a través de los conceptos: las transformaciones o **ciclos de la materia**; las transferencias o **flujos de energía** y los **tipos de organización** que adoptan sus elementos. Enfoca el estudio de las relaciones entre los organismos en niveles distintos, dentro de límites geográficos definidos.

Flujo unidimensional de la energía y ciclo de la materia en un ecosistema marino



Tomado de Enciclopedia del estudiante, *El Tiempo*, 1999

Las poblaciones de las especies que conviven en un área determinada conforman **la comunidad**; esta y todos sus aspectos físicos asociados conforman **el ecosistema**.

Cuando se ocupa de grupos de organismos de la misma especie se denomina **ecología de poblaciones**, y cuando estudia los grupos de organismos de diferentes especies se llama **ecología de comunidades**. Los niveles de organización más complejos son los **ecosistemas** y los **biomas**.

La **biosfera** o **ecosfera** es el conjunto de todos los ecosistemas del planeta que agrupan la totalidad de los seres vivos.

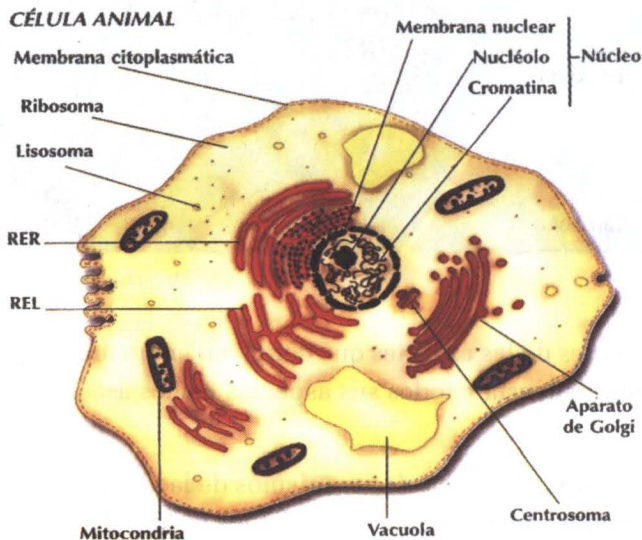
Los niveles de organización en ecología siguen el principio de la integración funcional; a medida que crece la complejidad estructural, surgen propiedades complementarias.

3.1 Los materiales biológicos

Holo y heteroproteínas, lípidos, ácidos nucleicos, etc., se integran en la naturaleza en un cierto número de niveles de organización cada vez más complejos: célula - individuo - población - comunidad - ecosistema.

3.2 La célula

Es la unidad biológica funcional más pequeña y sencilla. Está compuesta por un territorio protoplasmático, limitado por una membrana plasmática (de lípidos y proteínas), reforzada en los vegetales por una membrana pectocelulósica. El protoplasma está constituido por una solución coloidal de proteínas muy estructurada (citoplasma), en cuyo seno se encuentran el *material genético* (ADN, ARN), organizado generalmente en un núcleo, y toda una serie de orgánulos (mitocondrias, ribosomas, plastos, etc.) que constituyen la maquinaria metabólica.



3.2.1 Características de los animales

Los animales tienen varias características que, en conjunto, los distinguen de los otros reinos y pueden según Audesirk, T. y Audesirk, G. (1998):

1. Ser multicelulares
2. Ser heterótrofos. Lo que significa que obtienen su energía mediante el consumo de cuerpos de otros organismos.
3. Reproducirse sexualmente. Aunque las especies animales exhiben una enorme diversidad de estilos reproductivos, todas son capaces de llevar a cabo la reproducción sexual.
4. Las células animales carecen de pared celular.
5. Los animales son móviles durante alguna etapa de su vida. Hasta las esponjas estacionarias tienen una etapa larvaria libre-natatoria.
6. Los animales generalmente son capaces de tener respuestas rápidas a los estímulos externos como resultado de la actividad de sus células nerviosas, de su tejido muscular o contráctil, o de ambos.

3.2.2 Características de los vegetales

El cuerpo de la planta aumentó en complejidad cuando las plantas hicieron la transición evolutiva del agua a la tierra. La vida vegetal surgió en el mar, un ambiente que apoya el cuerpo vegetal proporciona una temperatura relativamente constante y baña toda la planta con nutrientes.

Durante su historia evolutiva, las plantas pasaron por una serie de cambios bajo las presiones de selección impuestas por los ambientes terrestres, donde las plantas están rodeadas por aire seco que no constituye su soporte. Las características y las adaptaciones a la tierra comprenden:

1. Raíces o estructuras en forma de raíz que anclan la planta y absorben agua y nutrientes del medio en que se encuentre.
2. Vasos conductores que transportan agua y minerales hacia arriba desde las raíces y productos fotosintéticos desde las hojas al resto del cuerpo vegetal.
3. La sustancia de refuerzo **lignina**, que impregna los vasos conductores de agua y minerales, sirve de apoyo al cuerpo de la planta, ayudándolo a exponer la máxima área superficial a la luz solar.
4. Una **cutícula** cerosa cubre las superficies de las hojas y de los tallos y limita la evaporación de agua.
5. Poros, llamados **estomas**, en las hojas y tallos que se abren para permitir el intercambio de gas, pero que se cierran cuando el agua es escasa, reduciendo la cantidad de agua perdida en la evaporación.

El reino plantae registra tres características fundamentales: son eucarióticos, fotosintéticos y (con pocas excepciones) multicelulares. Hasta la fecha se han identificado casi 300.000 especies de plantas multicelulares.

3.3 La especie

Fingerman (1972), citado por Zuluaga (1977), señala que una especie es “una serie de poblaciones capaces de cruzarse entre sí para producir descendencia fértil, pero que ordinariamente no se cruzan con otros grupos”. La especie tiene una realidad definida en la naturaleza y nunca es un grupo artificial establecido por el hombre. Dicha definición de especie es sólo aplicable a los organismos que se reproducen sexualmente y, por lo tanto, especies diferentes no pueden -en condiciones normales- aparearse y producir descendencia fértil; es decir, que el intercambio genético interespecífico es muy extraño o tal vez no ocurra. En cuanto a los organismos con reproducción asexual, la especie se define con base en diferencias anatómicas, de conducta o fisiológicas.

A partir de la categoría de especie se pueden considerar ciertos subgrupos, en los cuales han evolucionado diferencias genéticas que los adaptan mejor para sobrevivir en sus hábitats locales. Se trata de las **razas** o **subespecies** y de las llamadas **variedades**. Estas últimas han sido desarrolladas principalmente bajo el control humano y no pueden conservar sus características distintivas en la naturaleza. En realidad, en una población los miembros no son todos iguales sino que muestran variaciones hereditarias; aquellos individuos portadores de variación favorable poseen ventajas en cuanto a competencia y, por ende, podrán sobrevivir y transmitir sus caracteres a la descendencia. Esto es lo que Darwin llamó “selección natural” Zuluaga (1977).

La especie es un grupo de poblaciones naturales inter cruzadas que están aisladas reproductivamente de otros grupos. Como resultado de ello, los miembros de una especie forman:

- a) Una **unidad reproductiva**, pues una multitud de recursos y condiciones asegura la reproducción intraespecífica en todos los organismos.
- b) Una **unidad ecológica**, ya que la especie interactúa como una unidad respecto a las otras especies con que comparte su ambiente.
- c) Una **unidad genética**, constituida por un gran “pool” genético en permanente intercambio. El individuo es sólo un pequeño reservorio de genes, por un tiempo relativamente corto.

Las barreras para el intercambio genético interespecífico las divide Fingerman (1972), citado por Zuluaga (1997), en **extrínsecas** e **intrínsecas**. Las primeras son de orden ecológico, de conducta, estructurales y fisiológicas en cuanto a reproducción (especies estrechamente relacionadas pueden ocupar

hábitats -salobre y salado, por ejemplo- muy distintos). Los **mecanismos intrínsecos** de aislamiento interespecífico (dos o más especies que ocupan el mismo territorio no pueden usualmente cruzarse entre sí) son factores que impiden a la descendencia híbrida convertirse en un miembro reproductor de la población. Ocurrirá, entonces, ya sea inviabilidad del híbrido o bien esterilidad del mismo (por ejemplo: el mulo, producto del cruce de caballo y burra).

Zuluaga (1977) señala que para Ehrenfeld (1972) algunos animales y plantas ocupan posiciones centrales en la red de relaciones mutuas que forman una comunidad. Si se suprimen selectivamente estas especies, empieza a sufrir la estructura de la comunidad; este tipo de organismos sobre los cuales descansa una buena parte de la estructura y la función de un ecosistema se denomina **especie clave**.

Para Margalef (1974), citado por Zuluaga (1977), desde el punto de vista de **distribución geográfica**, las especies se pueden ordenar entre dos extremos:

1. Especies que se extienden sobre un área vasta (ocupando a veces pequeñas parcelas) y con capacidad de producir un gran número de materiales reproductivos de fácil transporte; en virtud de esto se mantiene un flujo genético considerable entre las distintas poblaciones locales.
2. Especies formadas por individuos de escasa movilidad y que, por su aislamiento, dejan pocos descendientes, los cuales no se alejan sensiblemente de sus progenitores; el flujo genético entre las diversas unidades de cría es aquí pequeño.

Se puede considerar a la especie como un conductor de energía entre unos y otros niveles del ecosistema, con una intensidad variable según su tasa de mortalidad. Complementariamente, debe tenerse en cuenta la existencia de las llamadas **especies politípicas**, que se pueden considerar descompuestas en varias subespecies o razas, todas las cuales juntas forman un "círculo de formas". La energía fluirá, por consiguiente, por vías muy diversas dentro del ecosistema (Zuluaga, 1977).

3.4 La población o demo

Es un sistema biológico formado por un grupo de individuos de la misma especie que viven en un lugar y tiempo determinados.

Para saber cómo crecen las poblaciones basta saber que los estudios de ecosistemas inalterados muestran cómo muchas poblaciones tienden a permanecer relativamente estables con el paso del tiempo.

Hay tres factores que establecen si cambiará el tamaño de una población y en qué medida: nacimientos, muertes y migración.

Los organismos se integran a una población gracias al nacimiento o a la **inmigración** (movimiento hacia adentro) y la dejan por muerte o **emigración** (movimiento hacia afuera).

Una población permanece estable si, en promedio, llegan a ella los mismos individuos que se van. Una población crece cuando el número de nacimientos más el número de inmigrantes supera el número de muertes más el número de emigrantes. Las poblaciones se reducen cuando ocurre lo contrario. Una ecuación sencilla para el cambio en el tamaño de la población es:

$$\text{Cambio en la población} = [(\text{nacimientos} - \text{muertes}) + (\text{inmigrantes} - \text{emigrantes})]$$

En muchas poblaciones naturales, los organismos que llegan y se van contribuyen relativamente poco al cambio en la población, y son los índices de natalidad y mortalidad los factores primordiales que influyen en su crecimiento.

Al final, el tamaño de cualquier población (sin tener en cuenta la migración) es el resultado de un equilibrio entre dos factores opuestos importantes. El primero es el **potencial biótico**, o índice máximo al cual podría aumentar la población, suponiendo que haya condiciones ideales que permitan un índice máximo de natalidad y un índice mínimo de mortalidad.

Lo opuesto son los límites impuestos por el ambiente vivo y no vivo: la disponibilidad de alimento y de espacio, la competencia con otros organismos y ciertas interacciones de las especies, como las conductas predatorias y el parasitismo. En conjunto, estos límites se llaman **resistencia ambiental**.

La resistencia ambiental puede reducir el índice de natalidad y aumentar el de mortalidad. Por lo general, la interacción entre el potencial biótico y la resistencia ambiental da como resultado un equilibrio entre el tamaño de la población y los recursos disponibles.

El potencial biótico de una población produce un crecimiento exponencial si no es restringida.

Los cambios en el tamaño de la población (sin tomar en cuenta la migración) son funciones del índice de natalidad, del índice de mortalidad y del número de individuos en la población original.

Los índices de cambio en el tamaño de la población pueden medirse como los cambios en cada una de estas variables para un tamaño dado de la población durante una unidad determinada de tiempo. Por ejemplo, los índices de natalidad y mortalidad pueden expresarse como el número anual de nacimientos o de muertes por cada mil individuos.

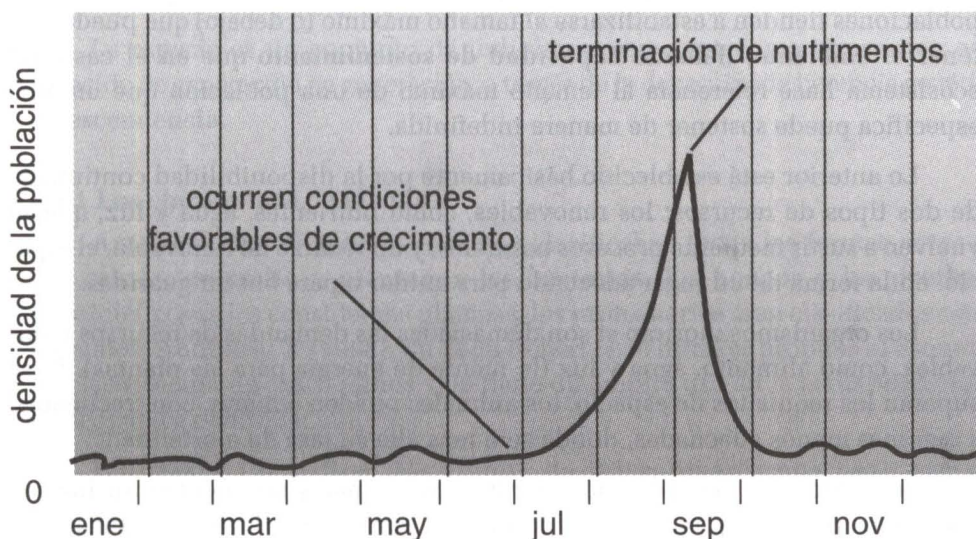
El **índice de crecimiento (r)** de una población se determina restando el índice de mortalidad (**d**) del índice de natalidad (**b**):

$$r = b - d$$

A veces el crecimiento exponencial lleva a ciclos “de abundancia y escasez”. En efecto, en la naturaleza, por ejemplo, se observa en poblaciones que pasan por ciclos regulares, donde después del rápido crecimiento de la población hay una mortalidad masiva.

Estos **ciclos de abundancia y escasez** ocurren en una variedad de organismos por distintas razones complejas. Muchas especies de vida corta y que se reproducen con rapidez, desde las algas hasta los insectos, tienen ciclos de población de temporada, que están relacionados con los cambios que se pueden predecir en la precipitación, en la temperatura o en la disponibilidad de nutrientes, tal como se observa en la siguiente figura.

Ciclo de auge y reducción en una población



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Las algas azul-verdosas en un ciclo de abundancia y escasez en el lago Erie. Las algas sobreviven en un nivel bajo durante el otoño, el invierno y la primavera. A principios de julio, las condiciones se vuelven favorables para el crecimiento y ocurre el crecimiento exponencial a lo largo de agosto, después del cual se terminan los nutrientes y la población “declina”.

En los climas templados, las poblaciones de insectos crecen rápidamente durante la primavera y el verano, y después se desploman al toparse con las congelantes temperaturas invernales.

El crecimiento exponencial también puede ocurrir cuando los individuos invaden un hábitat nuevo donde las condiciones son favorables y es escasa la competencia o las prácticas predatorias.

Muchas invasiones de este tipo han ocurrido cuando la gente ha introducido **especies exóticas** o **extrañas** en los ecosistemas, con frecuencia con resultados trágicos.

La resistencia ambiental limita el crecimiento de las poblaciones. En efecto, el crecimiento exponencial lleva consigo las semillas de su propia destrucción. Cuando nuevos individuos se unen a la población se intensifica la competencia por los recursos. Los depredadores pueden aumentar o hacer de esta presa abundante una parte de su dieta. Los parásitos y las enfermedades se diseminan más fácilmente por el amontonamiento y la debilidad, resultado de la falta de alimento o de la tensión causada por las interacciones sociales adversas. Audesirk, T. (1998).

En consecuencia, después de un período de crecimiento exponencial, las poblaciones tienden a estabilizarse al tamaño máximo (o debajo) que puede sostener el ambiente, llamado **capacidad de sostenimiento** que en el caso del ecosistema hace referencia al tamaño máximo de una población que un área específica puede sostener de manera indefinida.

Lo anterior está establecido básicamente por la disponibilidad continuada de dos tipos de recursos: los renovables, como nutrientes, agua y luz, que se vuelven a surtir mediante procesos naturales, y un recurso no renovable, el espacio, en la forma de un lugar adecuado para anidar o para buscar guaridas.

Los organismos morirán si son demasiadas las demandas de recursos renovables, como alimento, agua y luz (la fuente de energía para las plantas). Si se superan los requisitos de espacio, los animales pueden emigrar, con frecuencia, a regiones menos adecuadas, donde será más alta su tasa de mortalidad.

Se reducirá la reproducción porque los animales no encuentran lugares adecuados para la reproducción o porque las semillas no llegan a un lugar idóneo para germinar.

Las demandas excesivas pueden dañar los ecosistemas y reducir su capacidad de sostenimiento. El resultado es una reducción en la población mientras se recupera el ecosistema, o una población permanentemente reducida.

Por ejemplo, el sobre-pastoreo de ganado en pastizales secos del oeste americano ha reducido la cubierta de pasto y ha permitido que prospere la artemisa (de la cual no se alimenta el ganado) que, una vez instalada, reemplaza los pas-

tos comestibles y reduce la capacidad de sostenimiento de la tierra para el ganado.

Las poblaciones se conservan en su capacidad de sostenimiento o por debajo de ella por las formas independientes de la densidad de la resistencia ambiental, como el clima, y por las formas dependientes de la densidad, que incluyen las prácticas predatorias, el parasitismo y la competencia. Audesirk, T. (1998).

Con frecuencia, los depredadores se comen a la presa más abundante y pueden cambiar a otra presa, según el tamaño de la población de las presas. Cuando los depredadores se concentran en una sola presa, pueden entrar en diferentes ciclos tanto la población de depredadores como la de presas.

Los parásitos se extienden más rápidamente en las poblaciones densas y pueden aumentar los índices de mortalidad cuando los animales sufren tensión por hacinamiento. Audesirk, T. (1998).

La competencia **interespecífica** limita tanto el tamaño como la distribución de las poblaciones, puede resolverse directamente mediante la **competencia confusa** o indirectamente por medio de las interacciones de las sustancias químicas o de las conductas sociales, llamadas en conjunto **competencia por selectividad**. La **emigración** es otra respuesta posible al exceso de población.

La **especie** es un conjunto de individuos semejantes que transmiten este parecido de generación en generación, a través de la denominada herencia genética o **descendencia**.

3.4.1 Los cinco reinos de la vida

Antes del año 1970 los taxónomos clasificaban todas las formas vivas en dos reinos: **animalia** y **plantae**, a las **bacterias**, los **hongos** y los **protistas** fotosintéticos se los consideraba plantas y los **protozoarios** eran clasificados como animales. Audesirk, T. (1998). En 1969 Robert H. Whittaker propuso el esquema de clasificación de cinco reinos, que tiene un amplio uso en la actualidad y que se describe a continuación.

Whittaker identificó dos reinos de microorganismos básicamente unicelulares, tomando como base si mostraban una organización celular **procariótica**; o **eucariótica**. El reino **mónera** consiste en células procarióticas, en general unicelulares, mientras que el **protista** consta de células **eucarióticas**, casi siempre **unicelulares**.

Todos los organismos en los tres reinos restantes (**plantae**, **fungi** y **animalia**) son **eucarióticos** y casi todos son **multicelulares**. Pueden clasificarse aún más sobre la base de la forma para adquirir sus nutrientes. Los miembros del reino **plantae** se valen de la **fotosíntesis** y los del reino **fungi** secretan enzimas al exterior de sus cuerpos y después absorben los nutrientes que digieren externamente.

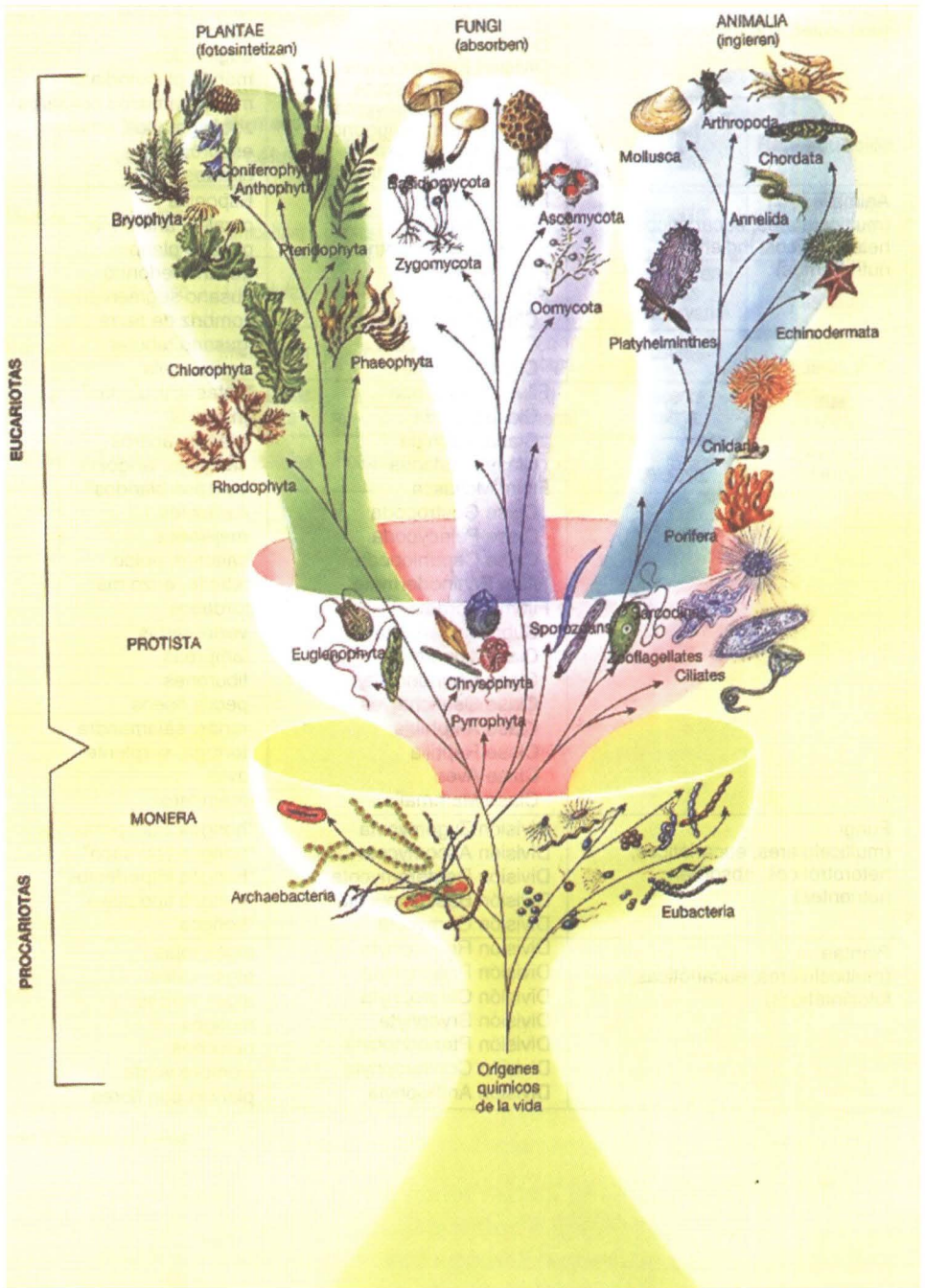
En contraste, los miembros del reino **animalia** ingieren su alimento y después lo digieren, ya sea dentro de una cavidad interna o de células individuales. En las siguientes tablas se muestran las comparaciones entre los cinco reinos y la clasificación de los grupos principales de organismos.

Reino	Tipo celular	Número de células	Modo principal de nutrición	Movilidad (movimientos)	Pared celular	Reproducción
Mónera	Procariótico	Unicelular	Absorbe o fotosintetiza	Móvil y no móvil	Presente: peptidoglicana	Generalmente asexual, rara vez sexual
Protista	Eucariótico	Unicelular	Absorbe, ingiere o fotosintetiza	Móvil y no móvil	Presente en formas algales: varía	Sexual y asexual
Animalia	Eucariótico	Multicelular	Ingiere	Móvil en alguna etapa	Ausente	Sexual y asexual
Fungi	Eucariótico	Multicelular mayoría	Absorbe	No móvil, generalmente	Presente: quitina	Sexual y asexual
Plantae	Eucariótico	Multicelular	Fotosintetiza	No móvil, generalmente	Presente: celulosa	Sexual y asexual

Reino	División/Filum	Nombre común
Mónera (unicelular, procariótica)	División/Filum División Eubacteria	Bacterias "verdaderas" bacterias "ancestrales"
Protista (unicelular, eucariótica)	División Archaeobacteria División Pyrrophyta División Chrysophyta División Euglenophyta División Myxomycota División Acrasiomycota Filum Sarcomastigophora Filum Apicomplexa Filum Ciliophora	Dinoflagelados diatomeas euglenoides mohos plasmodiales mohos lamosos celulares zooflagelados, amebas esporozoarios ciliados
Animalia (multicelulares, eucarióticos, heterotróficos, ingieren nutrimentos)	Filum Porifera Filum Cnidaria Filum Platyhelminthe Filum Nematoda Filum Annelida Clase Oligocheata Clase Polycheta Clase Hirudinea Filum Arthropoda Clase insecta Clase arácnida Clase crustacea Filum Mollusca Clase Gastropoda Clase Pelecypoda Clase Cephalopoda Filum Echinodermata Filum Chordata Subfilum Vertebrata Clase Agnatha Clase Chondrichthys Clase Osteichthyes Clase Amphibia Clase Reptilia Clase Aves Clase Mammalia	Esponjas corales, anémona gusano plano gusano redondo gusano segmentado lombriz de tierra gusano tubular sanguijuela "patas articuladas" insectos arañas, ácaros cangrejo, langosta "cuerpos blandos" caracoles mejillones calamar, pulpo estrella, erizo mar cordados vertebrados lampreas tiburones peces óseos ranas, salamandra tortuga, serpiente aves mamíferos
Fungi (multicelulares, eucarióticos, heterotróficos, absorben nutrientes)	División Zygomycota División Ascomycota División Deuteromycota División Basidiomycota División Oomycota	"hongos zigosporas" "hongos tipo saco" "hongos imperfectos" "hongos tipo clava" "hongos"
Plantae (multicelulares, eucarióticas, fotosintéticas)	División Rhodophyta División Phaeophyta División Chlorophyta División Bryophyta División Pteridophyta División Coniferophyta División Anthophyta	algas rojas algas caféas algas verdes musgos helechos siempre verde plantas con flores

Tomado de Audesirk, T. 1998.

Es conveniente registrar el denominado **Árbol de la vida**, donde se ilustran los cinco reinos de algunos de los fila o divisiones principales dentro de ellos:



Tomado de Teresa y Gerald Audesirk, 1998.

3.5 La comunidad o biocenosis

Es un sistema biológico que agrupa el conjunto de poblaciones habitantes de un mismo lugar determinado, en unas condiciones dadas del medio y en un momento concreto.

La competencia, conductas predatorias y simbiosis forman la base de una comunidad.

Por lo general, las poblaciones en las comunidades se han desarrollado juntas, en un proceso llamado **coevolución**. Durante la coevolución, diferentes especies actúan como agentes mutuos de **selección natural**.

Los animales de presa han desarrollado defensas complejas que les ayudan a sobrevivir.

Los herbívoros tienen especializaciones digestivas que les permiten comer plantas locales. A su vez, las plantas crecen con rapidez o se defienden con medios químicos o físicos, manteniéndose un paso delante de sus depredadores.

Toda la comunidad sobrevive mediante un equilibrio delicado entre las poblaciones, que puede ser derribado por la invasión de una nueva especie.

La **comunidad** es pues el conjunto de poblaciones, animales, vegetales y de protistos, que viven en un lugar determinado (**biotopo**), en una época concreta, y aunque formado por plantas, animales, bacterias, hongos y otros organismos, representa una agrupación relativamente **uniforme**, de aspecto y composición (florística y faunística) determinados.

En el interior de su área la especie desarrolla sus poblaciones en un variado número de hábitats locales, denominados **biotopos**, condicionados por los factores del medio.

La **acomodación** es la capacidad que posee una especie suficientemente “plástica” para armonizar con las condiciones del medio, desarrollando caracteres no hereditarios llamados **modificaciones**; las poblaciones que de ellos resultan son llamadas **ecofenes**.

La **adaptación**, diferenciación en razas distintas, genéticamente adaptadas a las especiales condiciones del medio, por desarrollo de caracteres hereditarios a partir de la mutación; las poblaciones originadas de esta manera son llamadas **ecotipos**.

Las poblaciones naturales en armonía genética con su medio están constituidas por individuos genéticamente bien equilibrados (que poseen una combinación de genes bien equilibrada), lo que les permite un funcionamiento fisiológico óptimo y un desarrollo coordinado de los órganos, en las condiciones particulares en que viven.

A menudo la diferenciación ecotípica aparece solo a nivel fisiológico (**fisioecotipos**) o morfológico (**morfoecotipos**).

Las poblaciones de una misma especie que muestran diferencias notables entre ellas forman **ecotipos** en sentido estricto; cuando las diferencias progresan paulatinamente de unas poblaciones a otras, a lo largo de un gradiente ecológico, constituyen una **ecoclina** (Gregor, 1943).

Los ecotipos que corresponden a un suelo de composición química particular (serpentina, yeso, dolomía, calamina, etc.) son los **quimioecotipos** (Duvigneaud y Denaeyer, 1973).

3.6 El ecosistema

Es una comunidad integrada en su medio, siendo un sistema funcional.

Dicho de otra manera, el ecosistema es tanto la comunidad biótica, como las condiciones abióticas en las que conviven sus elementos. Incluye también las formas en que las poblaciones se relacionan entre ellas y el ambiente abiótico para reproducirse y perpetuar al grupo.

El ecosistema es el conjunto de poblaciones vegetales, animales y microorganismos relacionados entre sí y con el medio, de modo que la agrupación puede perpetuarse.

Con fines de estudio podemos considerar **Ecosistema** a cualquier **comunidad biótica más o menos delimitada** y que vive en cierto ambiente. Así, es posible estudiar como ecosistemas distintos un bosque, un pastizal, un pantano, una marisma, una charca, una playa y un arrecife de coral, cada uno con sus respectivas especies y en su ambiente particular.

Puesto que ningún organismo puede vivir fuera de su ambiente o sin relacionarse con otras especies, los ecosistemas son **las unidades funcionales de la vida sostenible en la tierra**.

3.7 La biosfera

Es el conjunto de ecosistemas naturales desarrollados en el seno de los mares o en la superficie de continentes e islas.

En conclusión, podemos ver a todas las especies de la tierra, junto con sus ambientes, como un vasto ecosistema al que llamamos **biosfera**.

Los ecosistemas locales son unidades con sostenibilidad, pero sus relaciones globales forman la biosfera. Este concepto es parecido a la idea de que las células son las unidades de los sistemas vivos, pero están vinculadas para formar organismos completos.

Si llevamos más lejos la analogía, ¿hasta qué grado se pueden trastornar o destruir ecosistemas antes de afectar a toda la biosfera?

3.8 La noosfera

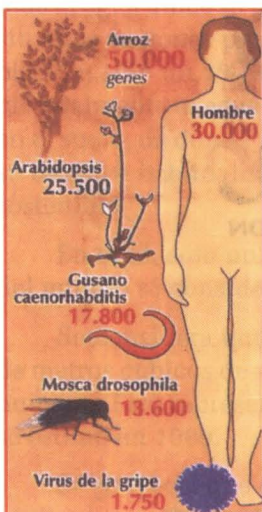
Resulta de la transformación de la **biosfera** por la inteligencia humana.

Lo que resulta inquietante es reconocer que precisamente sea la especie más evolucionada, es decir, la que se supone más inteligente, la que viene transformando las calidades ecosistémicas en forma creciente y conforme al avance de su propia civilización, apoyado en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

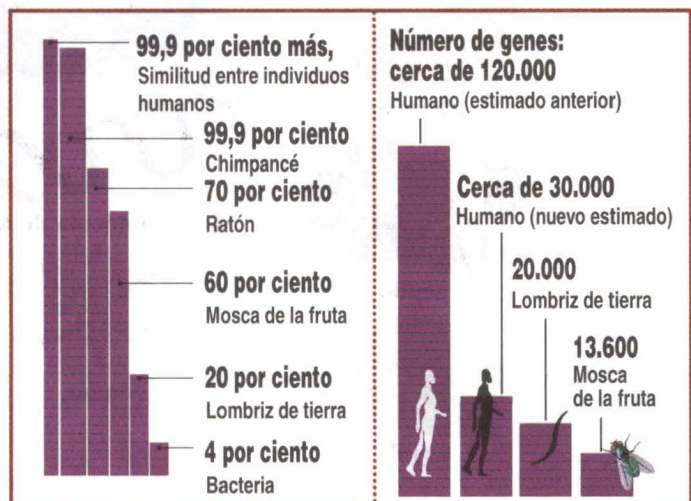
Conforme al reciente anuncio hecho por los científicos Francis Collins de USA y Craig Venter de Inglaterra (febrero 12 de 2001), quienes en su orden son la cabeza visible de los proyectos “Genoma Humano” y “Celeric Genomics”, resulta paradójico que el más evolucionado de los habitantes del planeta, el hombre, tenga 20.000 genes menos que una planta de arroz; 12.200 más que un gusano (el *Caenorhabditis*); 16.400 más que la mosca *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta, muy utilizada en estudios genéticos precisamente) y 28.250 más que el virus de la gripe (*El País*, febrero de 2001).

El humano siempre ha visto la naturaleza desde la óptica errada de que le pertenece por el simple hecho de constituirse en la especie más evolucionada. Sin embargo, el reciente descubrimiento del mapa genético humano nos muestra que por similitud genética somos muy cercanos a otras criaturas, tal como lo muestra el siguiente gráfico, *El Tiempo* (febrero de 2001):

CANTIDAD DE GENES



SIMILITUD GENETICA

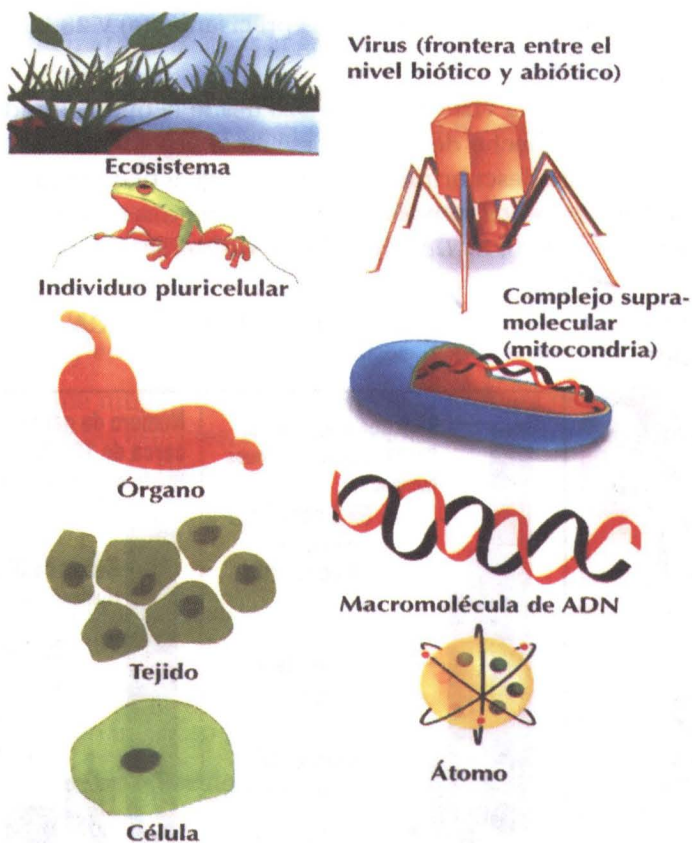


La pregunta es por qué en lugar de aprovechar una mejor disposición de esos genes en nuestro código de **ADN**, el hombre desde sus inicios se ha dedicado a “saquear” la naturaleza, merced a hechos como el dominio del lenguaje, el papel del trabajo en la transformación de mono a hombre, tal como lo analizó Federico Engels, el descubrimiento y uso del fuego, de las herramientas, la revolución industrial, etc.

La noosfera es más bien un concepto que debe reevaluarse a la luz de los resultados de la acción antrópica a través del tiempo, para reconocer que la inteligencia humana de poco le ha servido al conjunto natural, cuando se ha visto la oferta de bienes y servicios como una simple oportunidad para acumular riquezas, a expensas de un uso abusivo de la misma (Tovar., J. 2001).

La siguiente gráfica nos ilustra los distintos niveles de organización biológica hasta llegar al ecosistema:

Niveles de organización



4. La hidrosfera

Se refiere a la cantidad de agua de la que cada bioma depende para subsistir, contenida en los océanos y cuerpos acuáticos continentales, la condensada en la atmósfera, la depositada en el suelo, en las rocas y en el hielo de los glaciares. Las aguas visibles se llaman **epicontinentales**.

Las corrientes marinas son el resultado de la interacción de los vientos, el movimiento de rotación de la Tierra y la posición de los continentes y las islas. La distribución de las lluvias durante el año también constituye un factor limitante para los organismos.

Las **plataformas continentales** son zonas de extensión variable, que pertenecen geológicamente al suelo continental y han sido cubiertas por las aguas del mar.

La densidad del agua disminuye cuando ésta se congela; tal característica física permite la vida acuática pues de lo contrario en las zonas polares el hielo se hundiría formando una densa capa en el fondo del mar, impidiendo la existencia de los ecosistemas acuáticos.

Por el contrario, el hielo superficial aísla el componente líquido e impide que ceda al medio demasiado calor, continuando así la vida acuática.

Disponibilidad y uso de la hidrosfera

Un 70% de la superficie de la Tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo el 35% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no está generalmente disponible. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Ésta es primordialmente el agua que se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo. Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con lluvia y las nevadas y es, por tanto, un recurso sostenible.

En total, sólo un centésimo de uno por ciento del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano.

Se considera que, mundialmente, se dispone de 12.500 a 14.000 millones de metros cúbicos de agua (12.500 a 14.000 kilómetros cúbicos) por año para uso humano. Esto representa unos 9.000 metros cúbicos por persona por año, según se estimó en 1989.

Se proyecta que en el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5.100 metros cúbicos por persona, al sumarse otros 2.000

millones de habitantes a la población del mundo. Aun entonces esta cantidad sería suficiente para satisfacer las necesidades humanas si el agua estuviera distribuida por igual entre todos los habitantes del mundo.

Pero las cifras per cápita sobre la disponibilidad del agua presentan un cuadro engañoso. El agua dulce mundialmente disponible no está equitativamente distribuida en el mundo, ni en todas las estaciones del año, ni de año a año. En algunos casos el agua no está donde la queremos, ni en cantidad suficiente. En otros casos tenemos demasiada agua en el lugar equivocado y cuando hace falta: "Vivimos bajo la tiranía del ciclo del agua".

El ciclo hidrológico de la tierra actúa como una bomba gigante que continuamente transfiere agua dulce de los océanos a la tierra y de vuelta al mar. En este ciclo de energía solar, el agua se evapora de la superficie de la tierra a la atmósfera, de donde cae en forma de lluvia o nieve. Parte de esta precipitación vuelve a evaporarse dentro de la atmósfera. Otra parte comienza el viaje de vuelta al mar a través de arroyos, ríos y lagos. Y aún otra parte se filtra dentro del suelo y se convierte en humedad del suelo o en agua de superficie. Las plantas incorporan la humedad del suelo en sus tejidos y la liberan en la atmósfera en el proceso de evapotranspiración. Gran parte del agua subterránea finalmente vuelve a pasar al caudal del agua de la superficie.

Distribución del agua dulce

El ciclo hidrológico no ofrece garantías a la humanidad. Unas tres cuartas partes de las precipitaciones anuales caen en zonas que contienen menos de un tercio de la población mundial. Dicho a la inversa, dos tercios de la población mundial viven en zonas que reciben sólo un cuarto de las precipitaciones anuales del mundo.

Por ejemplo, un 20% de la escorrentía media mundial por año corresponde a la cuenca amazónica, una vasta región con menos de 10 millones de habitantes, o sea, una minúscula fracción de la población mundial. De manera similar, el río Congo y sus tributarios representan un 30% de la escorrentía anual del entero continente africano, pero esa cuenca hidrográfica contiene sólo 10% de la población de África.

Más de la mitad de la escorrentía mundial tiene lugar en Asia y Sudamérica (31 y 255 respectivamente). Pero si se considera la disponibilidad per cápita, Norteamérica tiene la mayor cantidad de agua dulce disponible, con más de 19.000 metros cúbicos por año, según estimaciones en 1990. En cambio, la cantidad per cápita es apenas superior a 4.700 metros cúbicos en Asia (incluido el cercano Oriente).

Tomada por país, la cantidad de agua dulce renovable disponible anualmente per cápita varía desde más de 600.000 metros cúbicos en Islandia a sólo 75 metros cúbicos por persona en Kuwait, de acuerdo con el estimado en 1995.

La disponibilidad de agua también exhibe notables diferencias dentro de los países. En México, menos del 10% de la extensión territorial proporciona más de la mitad de la escorrentía nacional de agua de lluvia. Pese al hecho de que 90% de México es árido y crónicamente escaso de agua, la disponibilidad total de agua per cápita en 1990 era de más de 4.000 metros cúbicos. Esta cifra es sumamente engañosa como medida de la disponibilidad real de agua para la mayoría de los mexicanos.

En gran parte del mundo el desarrollo del suministro de agua dulce tiene lugar en forma de lluvias estacionales. Esa agua se escurre demasiado rápidamente para utilizarla de manera eficiente, como ocurre durante los monzones en Asia. La India, por ejemplo, recibe el 90% de las precipitaciones durante la estación de los monzones en el verano, desde junio a septiembre. En los ocho meses restantes el país recibe apenas unas gotas de lluvia.

Como resultado de la naturaleza estacional del suministro de agua, la India y algunos otros países en desarrollo no pueden aprovechar más del 20% de los recursos potencialmente disponibles de agua dulce.

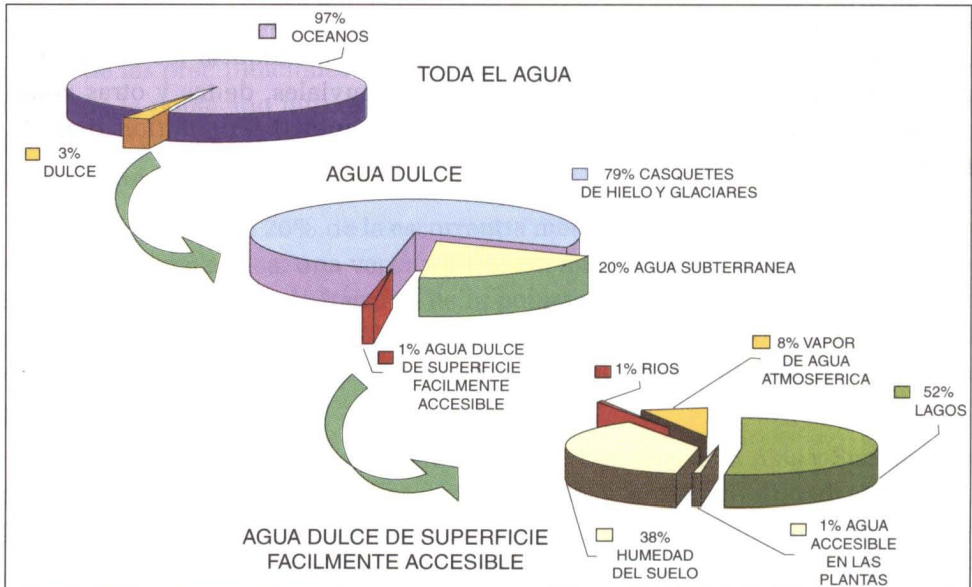
En el mundo existen unas 40.000 presas de más de 15 metros de altura, construidas en su mayoría en los últimos 50 años. Si bien las presas ayudan a asegurar un suministro constante de agua, a menudo ponen en peligro los ecosistemas acuáticos al perturbar los ciclos de anegación, bloquear los canales fluviales, alterar el curso de los ríos, las llanuras aluviales, deltas y otras zonas pantanosas, y poner en peligro la vida vegetal y animal (*Population Reports*, 1998).

Vínculos entre la población y el agua dulce



Fuente: Population Reports, 1998.

Distribución del agua en el mundo



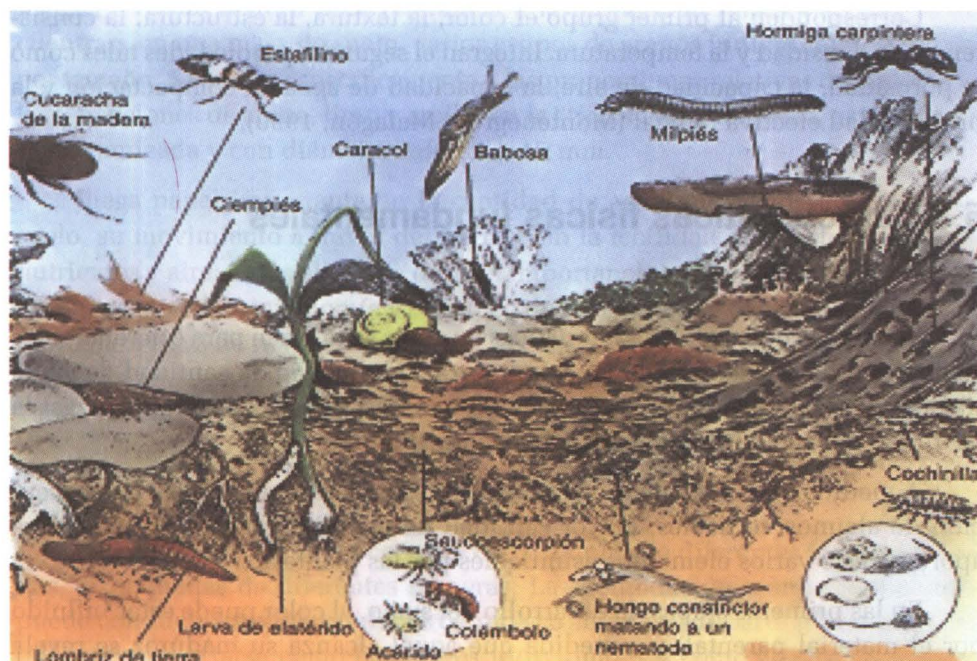
Fuente: Population Reports, 1998

5. La litosfera

El interior de la tierra es de roca fundida por el calor del decaimiento radiactivo de isótopos inestables que se conservan del tiempo en que se formó el sistema solar, hace unos 5.000 millones de años.

La corteza terrestre, que incluye el fondo de los océanos así como los continentes, es una capa relativamente delgada (de no más de 100 km de espesor) que podemos imaginar como formada de grandes losas de piedra que flotan sobre una capa elástica o **estenosfera** (de roca líquida que fluye por el calor y la presión), como las galletas en el tazón de la sopa.

Estas losas se llaman **Placas tectónicas**; la corteza terrestre está compuesta de media docena de placas mayores y dos docenas de menores. En otras palabras, se puede afirmar que la litosfera es el **sustrato sólido** de la tierra, formado por la **corteza** y el **manto superior**. Es la que constituye las **placas continentales**, de allí que se caracterice por su rigidez. Se diferencia porque se desplaza sobre la **astenosfera**, sección semilíquida del manto.



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

El suelo es un ecosistema basado en los detritos. Numerosos organismos se alimentan de detritos y horadan el suelo, con lo que forman un mantillo rico en humus, de una terrosa y floja estructura.

El **suelo** es la zona de transición entre la corteza geológica, la atmósfera y la hidrosfera, y está permeado por las dos últimas, de allí su baja densidad. Se forma al desintegrarse las rocas.

Este proceso, llamado **meteorización**, conduce a la formación de fragmentos minerales pequeños, que mezclados con restos orgánicos, agua y aire, constituyen los suelos.

El suelo es la resultante de numerosas interacciones dinámicas tanto de componentes orgánicos como inorgánicos, de cuya integración se deriva este cuerpo natural, cuya función más sobresaliente ha sido la de constituir el medio para el desarrollo vegetal (Montenegro & Malagón, 1990).

Las propiedades físicas deben ser entendidas en conjunto, interdependientemente y formando un todo armónico ya que entre ellas se establece una íntima relación. De acuerdo con su determinación y con sus fenómenos relacionados, pueden ser divididas en dos grupos:

- a. Características físicas fundamentales.
- b. Características físicas derivadas.

Corresponden al primer grupo el color, la textura, la estructura, la consistencia, la densidad y la temperatura. Integran el segundo, propiedades tales como la porosidad, la capacidad de aire, la capacidad de agua, la compactación y la profundidad efectiva radical (Montenegro & Malagón, 1990).

5.1 Características físicas fundamentales

5.1.1 Color

El color es una de las características que más se utilizan para diferenciar los suelos; guarda relaciones con la temperatura, la humedad, la cantidad de materia orgánica, el clima, los organismos y, en muchos aspectos, sirve para juzgar la fertilidad del suelo (Montenegro & Malagón, 1990).

A medida que un suelo es más oscuro presenta, generalmente y con excepción de algunos vertisoles, mayor cantidad de materia orgánica la cual podrá aportar a éste varios elementos asimilables por las plantas.

En las primeras etapas de desarrollo del suelo, el color puede estar influido por el material parental, y a medida que aquel alcanza su madurez se revela sobre la coloración el efecto climático. Colores rojizos se asocian con la dinámica del hierro en estado férrico, circunstancia que puede interferir en el grado de solubilidad de elementos como los fosfatos, necesarios para las plantas. Colores verdes y azulosos están relacionados con estados de reducción en el suelo, que determinan medios desfavorables para las plantas; esto se deriva de las limita-

ciones de oxígeno, asociadas a procesos de intercambio gaseoso suelo-atmósfera (Montenegro & Malagón, 1990).

5.1.2 Textura

Esta característica resulta de integrar los porcentajes de las fracciones de arena, limo y arcilla. Según predomine una u otra fracción, el suelo presentará características muy diferentes que influirán en su aireación, permeabilidad, retención de humedad, volumen explorado por las raíces, etc. (Montenegro & Malagón, 1990).

La textura más equilibrada para el buen desempeño agrícola corresponde a la de los suelos francos (arcillas entre 7-27% y limo 28-50%); éstos presentan una tendencia uniforme a retener agua, a la vez que permiten la difusión de gases, con lo cual las funciones fisiológicas de la planta no sufrirán limitaciones.

De acuerdo con el predominio de una u otra fracción podrá establecerse la fertilidad potencial, grado de evolución, aspectos genéticos y características químicas asociadas (Montenegro & Malagón, 1990).

El término textura hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, varios grupos de granos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la "tierra fina" del suelo, es decir en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 10 mm.

Juega papel importante en la cantidad de agua que pueda almacenar un suelo, su movimiento a través del perfil y en la facilidad de abastecimiento de nutrientes y aire; todos ellos son de gran importancia para las plantas. La textura es importante en la taxonomía y el mapeo de los suelos, en la clasificación de las tierras con fines de riego y drenaje, en la conservación de los suelos, todo lo cual influye también en el manejo de las cuencas hidrográficas (Montenegro & Malagón, 1990).

5.1.3 Estructura

La fase sólida del suelo consiste de partículas de diferentes formas y tamaños, acomodadas de diferentes maneras. La acomodación o empaquetamiento puede conducir a formar unidades cerradas o abiertas; sus partículas integrantes pueden comportarse como elementos individuales o como grupos de ellos en dominios y agregados. La cantidad de espacio poroso, su continuidad y el tamaño de los poros variarán de acuerdo con dichos procesos. Todos éstos son aspectos de la estructura del suelo que ayudan a definirla como el arreglo de la fase sólida del suelo y del espacio poroso localizado entre sus partículas constituyentes (Montenegro & Malagón, 1990).

El tipo de material parental afecta a la naturaleza y las características de las partículas primarias de la fase sólida; el hinchamiento o expansión y la contracción ayudan a reformarlas; la acción de los organismos del suelo y de las raíces de las plantas coadyuvan en esta acción; los procesos químicos y biológicos movilizan y depositan materiales que ayudan a integrarlas como agregados.

Según Hillel (1980), citado por Montenegro & Malagón (1990), define la estructura del suelo como el arreglo y la organización de las partículas constitutivas. Las partículas del suelo difieren en forma, tamaño y orientación, sus masas pueden estar asociadas e interligadas en diferentes formas, presentando configuraciones complejas e irregulares, las cuales son, en general, difíciles o casi imposibles de caracterizar en términos exactos (Montenegro & Malagón, 1990).

La estructura del suelo según Baver (1972), citado por Montenegro & Malagón (1990), tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante de la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc., por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos en las cosechas.

La estructura afecta directamente muchas de las propiedades del suelo, entre ellas vale la pena destacar la retención y la conducción del agua, que dependen del espacio poroso, del tamaño y la distribución de los poros; influye en las operaciones de labranza, y sobre el crecimiento vegetal a través de sus efectos sobre el ambiente del suelo en el que opera el sistema radical. La estructura afecta tanto el suministro de agua como la capacidad de aire, la temperatura del suelo y la resistencia que ofrece al crecimiento de las raíces (Montenegro & Malagón, 1990).

5.2 El ecosistema del suelo

La caída de los antiguos imperios griego, romano y otros fue provocada más por la declinación de la agricultura de subsistencia (por causa de la erosión del suelo) que por fuerzas externas. Nada más en EE.UU. el destino de tierras de cultivo para otros usos ha promediado casi 600.000 hectáreas en la última década, y las pérdidas siguen aumentando. Lo mismo ocurre en los países en desarrollo.

Además, en todo el mundo la erosión, la formación de sales en las tierras y otros problemas vienen degradando los suelos agrícolas de una manera que socavarán mucho la productividad en el futuro.

Durante los últimos 40 años, un tercio de las tierras de labranza del mundo (unas 1.500 millones de hectáreas) ha sido abandonado por semejante degradación y lo peor es que las cifras siguen en aumento, especialmente en los países más pobres, donde sucumben las mejores tierras para dar cabida a cultivos ilícitos (caso Colombia, Perú y Bolivia), o a ganaderías intensivas que aceleran esos procesos de degradación.

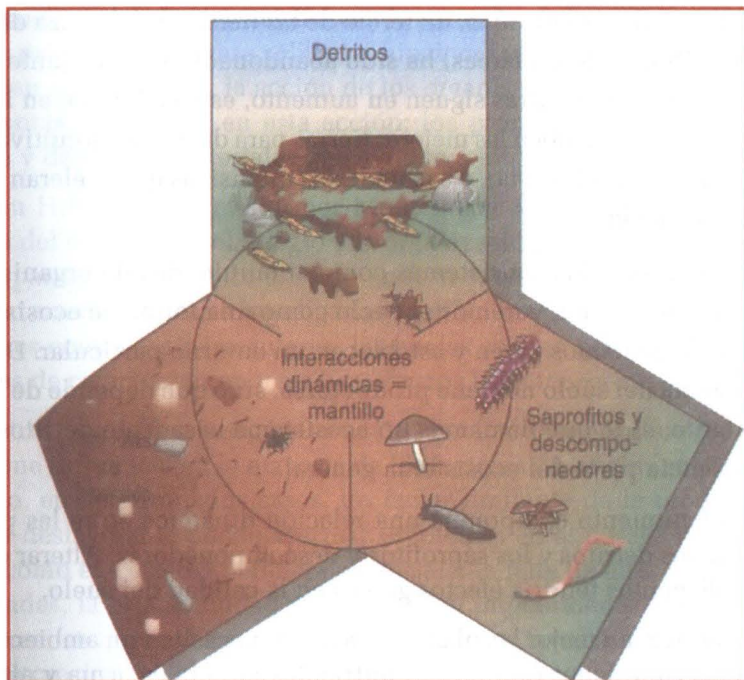
Si consideramos los ecosistemas como comunidades de organismos que viven en cierto ambiente, veremos el suelo como una forma de ecosistema por sí mismo: sus organismos viven y establecen un entorno particular. Desde luego, el ecosistema del suelo no tiene productores, sino que depende de los detritos; por lo tanto, es lo que llamamos un ecosistema basado en detritos, y sigue siendo en esencia parte del ecosistema general.

Su mantenimiento comprende una relación dinámica entre las partículas de minerales, los detritos y los saprofitos y descomponedores. Alterar cualquiera de estos elementos tendría efectos graves en la calidad del suelo.

Para que crezcan mejor las plantas, las raíces necesitan un ambiente que les suministre las cantidades óptimas de nutrientes minerales, agua y aire (oxígeno). El pH (acidez relativa) y la salinidad (concentración de sales) del suelo también son cruciales.

La fertilidad del suelo, su capacidad de sostener el crecimiento de las plantas, a menudo se refiere en particular a la presencia de las cantidades adecuadas de nutrientes, pero también comprende su capacidad de satisfacer todas las otras necesidades de las plantas (Nebel., B. y Wrigth, R. 1999).

Tal como se muestra en la figura siguiente, un suelo productivo es más que "tierra".



Tomado de Nebel y Wrighth, 1999

Como los nutrientes minerales son solubles en agua, se escurren del suelo con el líquido, de la misma manera como es posible retirar la sal de la arena haciéndola pasar por agua. La remoción por agua de los materiales del suelo se llama **lixiviación**, que no sólo aminora la fertilidad del suelo, sino que también contribuye a la contaminación cuando los materiales que arrastra desembocan en las corrientes fluviales.

En consecuencia, la capacidad del suelo de recoger y retener iones de nutrientes hasta que sean absorbidos por las raíces de las plantas es tan importante como el propio suministro de los iones.

En cuanto hace referencia a las relaciones entre plantas, suelo y agua, el agua que pierden las plantas por transpiración debe ser reemplazada por reservas de humedad que retiene el suelo. Además del monto y la frecuencia de las lluvias, el tamaño de esta “reserva” depende de la capacidad del suelo de permitir la infiltración de agua, de retenerla y reducir la evaporación directa, tal como se ilustra más adelante.

Para sostener un buen campo de cultivo el suelo debe:

1. Tener un suministro adecuado de nutrientes y poseer la capacidad de retenerlos.
2. Permitir la infiltración y tener buena capacidad de retención de agua, así como resistencia a las pérdidas por evaporación.

3. Contar con una estructura porosa que facilite la aireación.
4. Tener un pH más o menos neutral.
5. Poseer un contenido bajo de sales.

Conforme las rocas se desgastan por intemperismo (descomposición gradual física y química de las rocas), se descomponen en fragmentos cada vez más pequeños, los cuales se clasifican como arena, limo y arcilla. Siguiendo el método del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), se tiene la siguiente tabla:

Clasificación de las partículas del suelo

Nombre de la partícula	Diámetro (mm)
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.50
Arena mediana	0.50 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.10
Arena muy fina	1.10 - 0.05
Limo	0.05 - 0.002
Arcilla	< 0.002

Tomado de USDA, 1997.

Las diferencias con diversas condiciones de humedad del suelo determinan la propiedad de su **consistencia**. Las partículas del suelo como arena, limo y arcilla constituyen la parte mineral de éste.

La **textura** del suelo, como ya se dijo, se refiere a las proporciones relativas de cada una de las partículas. Si alguna predomina, hablamos de suelos arenoso, limoso o arcilloso.

La proporción que suele encontrarse es de más o menos 40% de arena, 40% de limos y 20% de arcilla, y se llama **suelo franco**. La siguiente tabla nos deja ver la relación entre la textura y las propiedades del suelo:

Relación entre la textura y las propiedades del suelo

Textura del suelo	Infiltración de agua	Capacidad de retener agua	Capacidad de retener nutrientes	Capacidad de aireación	Viabilidad
Arenosa	Buena	Escasa	Escasa	Buena	Buena
Limosa	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Arcillosa	Escasa	Buena	Buena	Escasa	Escasa
Marga	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular

Tomado de USDA, 1997.

La textura del suelo también influye en su **laborabilidad**, es decir, en la facilidad con la que se puede cultivar. Este hecho tiene una relación importante con la agricultura. Los suelos arcillosos son muy difíciles de cultivar, porque aun con cambios modestos en el contenido de humedad pasan de ser pegajosos y lodosos a duros como la piedra.

Los suelos arenosos son muy fáciles de arar, porque no se vuelven lodosos cuando están húmedos, ni endurecen cuando se secan. La capacidad del suelo de retener el agua y los nutrientes aumenta de acuerdo con el tamaño menor de las partículas que lo componen. Los iones de agua y nutrientes tienden a adherirse a las superficies, y las partículas más pequeñas poseen un área superficial relativamente mayor.

La acumulación de hojas y raíces secas y otros detritos en el suelo sostiene una complicada red o trama alimentaria, que incluye numerosas especies de bacterias, hongos, protozoarios, acáridos, miriápodos, arácnidos, lombrices de tierra, caracoles, babosas y otros animales excavadores.

Cuando estos organismos se alimentan, la mayor parte de los detritos se consume en la respiración celular, y el dióxido de carbono, el agua y los nutrientes minerales son liberados como subproductos. Sin embargo, cada organismo deja una parte sin digerir, esto es, cierta porción no es descompuesta por las enzimas digestivas. Este residuo de materia orgánica parcialmente descompuesta se llama **humus**.

Un ejemplo es el material negro o café oscuro que queda en los troncos secos luego de que el centro se ha podrido.

El humus es la materia orgánica del suelo realmente activa, coloidal, de colores oscuros, que tiene propiedades físicas y químicas bien definidas y que no está sujeto a una tasa de descomposición tan rápida como la de los residuos (Montenegro & Malagón, 1990).

Hay diferentes tipos de humus y todos se originan a través de la humificación de residuos vegetales y animales en el suelo. La contribución de las plantas a la formación de humus es mucho mayor que la de los animales, aunque gran parte del mismo puede originarse del excremento de los animales del suelo, los que se alimentan generalmente de material vegetal. Por humificación se entiende el proceso de descomposición parcial de sustancias orgánicas y la síntesis de algunos compuestos que son específicos del humus. Durante la humificación algunos de los compuestos, rápidamente atacados, son oxidados y perdidos como agua, anhídrido carbónico y otros gases; otros son lixiviados.

Luego de un año de humificación sólo queda una fracción del peso seco original de la sustancia orgánica. Su composición es materialmente alterada. Generalmente, el porcentaje de nitrógeno y otros elementos es más alto que en el material original, el contenido de carbón es levemente mayor pero el de oxígeno

e hidrógeno ha estado sometido a pérdidas mayores. La humificación es un proceso de oxidación lenta e incompleta. Por esta razón las raíces son probablemente la principal fuente de humus, ya que se descomponen en forma más gradual que los restos de las partes aéreas de las plantas. Éstas, al quedar en la parte superior del suelo, son mantenidas húmedas y bien aireadas, quedando expuestas a una descomposición rápida.

Hay diferentes tipos de humificación; la división más amplia incluye grupos terrestres, semi-terrestres y acuáticos. Éstos se diferencian por el tipo y la cantidad de material vegetal disponible y por la tasa y tipo de descomposición. El tipo de humus en la mayoría de los suelos agrícolas es de origen terrestre.

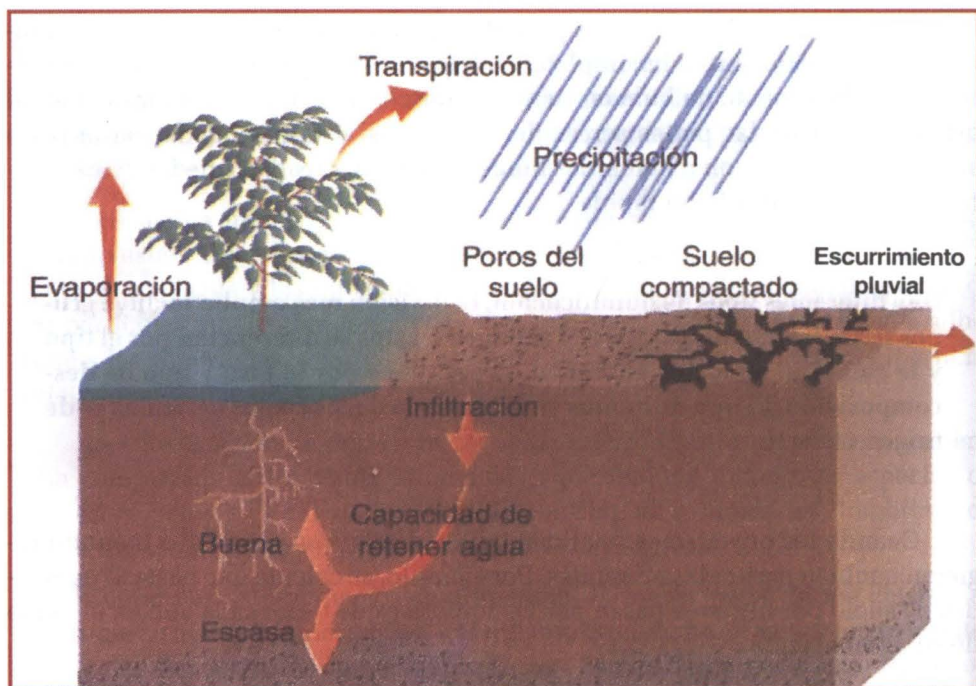
Cuando los organismos se alimentan de detritus en el suelo, a menudo ingieren también partículas minerales. Por ejemplo, se calcula que hasta 37 toneladas de suelo por hectárea pasan por las lombrices de tierra cada año en el curso de su alimentación.

Cuando las partículas minerales atraviesan el tracto digestivo de estos organismos, quedan “pegadas” por los compuestos indigeribles del humus. Así, los excrementos de las lombrices o egagrópilas (bolas regurgitadas), como se llaman, son “terrones” más o menos estables de partículas inorgánicas más humus. La actividad excavadora de los organismos mantiene flojos los terrones.

Hay otras relaciones entre las plantas y la biota del suelo. Una muy importante es la relación simbiótica entre las raíces de algunas plantas y ciertos hongos llamados **micorrizas**.

A cambio de obtener alimento de las raíces, las micorrizas penetran en los detritus, absorben los nutrientes y los transfieren directamente a las plantas. Así, no hay pérdida de nutrientes por lixiviación. Otra relación notable es la función de algunas bacterias del suelo en el ciclo del nitrógeno.

Pero no todos los organismos del suelo son benéficos para las plantas. Los nematodos y pequeñas lombrices que se alimentan de las raíces son muy destructivos en los cultivos. En un ecosistema floreciente del suelo, estas plagas son controladas por otros organismos, como un hongo que forma pequeños lazos para atraparlas y comérselas (Nebel y Wrigth, 1999).



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

5.3 El perfil del suelo

Definidos los componentes y sus proporciones en el suelo, se debe considerar éste ahora, como un cuerpo natural.

La parte superficial del suelo es la más importante desde el punto de vista de su utilización agropecuaria; no obstante, deben considerarse las capas u horizontes más profundos si se busca comprender el origen, tanto del suelo en sí, como de sus características y propiedades.

Es necesario estudiar el suelo separando los diferentes horizontes desde la superficie hacia abajo. El estudio de la sección vertical del suelo en un hueco o calicata con dimensiones específicas, constituye la descripción del perfil del suelo.

Rara vez el perfil del suelo es uniforme en profundidad y típicamente consiste de una sucesión de capas u horizontes distintos. Las capas pueden ser el resultado de diferentes modos de depositación o sedimentación, como los suelos originados a partir de depósitos eólicos (viento) y particularmente los aluviales (agua). Sin embargo, las capas originadas por procesos pedogenéticos (descomposición de rocas) son denominadas horizontes.

Un horizonte es una capa de suelo, aproximadamente paralela a la superficie del mismo, con características producidas por los procesos formadores del

suelo. Un horizonte se puede diferenciar del adyacente, por lo menos en forma parcial, sobre la base de características que pueden ser apreciadas en el campo (color, textura, estructura, etc.); sin embargo, a veces se requieren datos complementarios del laboratorio para caracterizarlo y definirlo con más precisión.

El perfil del suelo, expuesto en un corte o sección vertical, abarca el conjunto de todos los horizontes genéticos, las capas orgánicas naturales que se encuentran sobre la superficie y el material parental u otras capas bajo el solum (horizontes A y B), que se han producido mediante su génesis e influyen en el comportamiento del suelo.

El horizonte A es la zona de mayor actividad biológica, generalmente enriquecida con materia orgánica y de color oscuro; el horizonte B es la zona de acumulación de algunos materiales que emigran desde el horizonte A (arcillas, materia orgánica o carbonatos, entre otros) y que tienden a acumularse en aquél. Debajo del horizonte B se encuentra el horizonte C, que es el material parental del suelo. En el caso de los suelos residuales, formados a partir de la roca madre, el horizonte C consiste de fragmentos descompuestos de ésta. En otros casos, el horizonte C está integrado por materiales asociados con sedimentos aluviales, eólicos o glaciales.

El desarrollo típico de un suelo y su perfil se llama pedogénesis y puede entenderse inicialmente como la interacción de los procesos que intervienen en la desintegración física de la roca o intemperismo de la roca, para formar el material parental del suelo. La acumulación gradual de los residuos orgánicos cerca de la superficie ocasiona un desarrollo claro del horizonte A, que puede formar una estructura granular con alta estabilidad de los agregados por la cementación de la memoria orgánica.

Por el intemperismo químico (hidratación, oxidación y reducción, disolución y precipitación) se pueden formar las arcillas, algunas de estas migran, junto con otros materiales (como las sales solubles), descendiendo del horizonte A y acumulándose en una zona intermedia (horizonte B), entre el horizonte A y el horizonte C. Aspectos importantes en los procesos de formación del suelo y el desarrollo del perfil son los mecanismos de eluviación e iluviación, los cuales cambian las características físico - químicas del suelo y, en consecuencia, su respuesta productiva (Montenegro & Malagón, 1990)

El perfil del suelo y el grosor de cada horizonte determinan entre otras cosas el tipo de vegetación del lugar. El grado de acidez o alcalinidad del suelo determina su pH, e influye en la asimilación y transmisión de los micro y macronutrientes a las raíces de las plantas.

6. Comunidades bióticas

En ecología la comunidad es una mezcla de poblaciones de distintas especies que interactúan en un medio específico. Es una agrupación mixta, por ello, para determinar sus características se tienen en cuenta factores como la distribución de sus nichos y madrigueras, el número de excrementos, la frecuencia con que se producen y la velocidad de descomposición de los mismos, la cantidad, el tamaño y la actividad.

Las comunidades tienen productores dominantes y animales consumidores, micrófagos y macrófagos clasificados en atención a los patrones de obtención, retención y manipulación del alimento.

La competencia, conductas predatorias y simbiosis forman la base de una comunidad. Por lo general, las poblaciones en las comunidades se han desarrollado juntas, en un proceso llamado **coevolución**.

Durante la coevolución, diferentes especies actúan como agentes mutuos de **selección natural**. Los animales de presa han desarrollado defensas complejas que les ayudan a sobrevivir. Los herbívoros tienen especializaciones digestivas que les permiten comer plantas locales. A su vez, las plantas crecen con rapidez o se defienden con medios químicos o físicos, manteniéndose un paso delante de sus depredadores.

Toda la comunidad sobrevive mediante un equilibrio delicado entre poblaciones, que puede ser derribado por la invasión de una nueva especie. La introducción de especies altera las interacciones de la comunidad.

Por lo general, las comunidades que se establecieron hace mucho tiempo son complejas e independientes y tienen poblaciones que interactúan y que se conservan relativamente constantes.

No obstante, incluso estas comunidades originan cambios graduales de largo plazo. Como se ha visto, un tipo de comunidad da lugar a otra, en un proceso llamado **sucesión**, que finalmente da como resultado una comunidad estable e independiente (Rizo, G. 1993).

7. Estratificación

El proceso de **estratificación** se refiere a la selección de las especies que integran una comunidad, destacando de ella las características más importantes y que determinan la diversidad y la forma de vida de toda la comunidad. Los aspectos más destacados son: tamaño, reproducción, alimentación y distribución en el ecosistema.

La comunidad posee una **estructura** definida: Los organismos se distribuyen en el espacio de la manera más útil para aprovechar las condiciones que ofrece el medio abiótico.

Dicho de otra forma, por “estructura” entendemos las partes y su correspondencia al formar un todo. La **estructura biótica** es la manera en que se conforman las diversas clases de organismos.

7.1 Estructura biótica

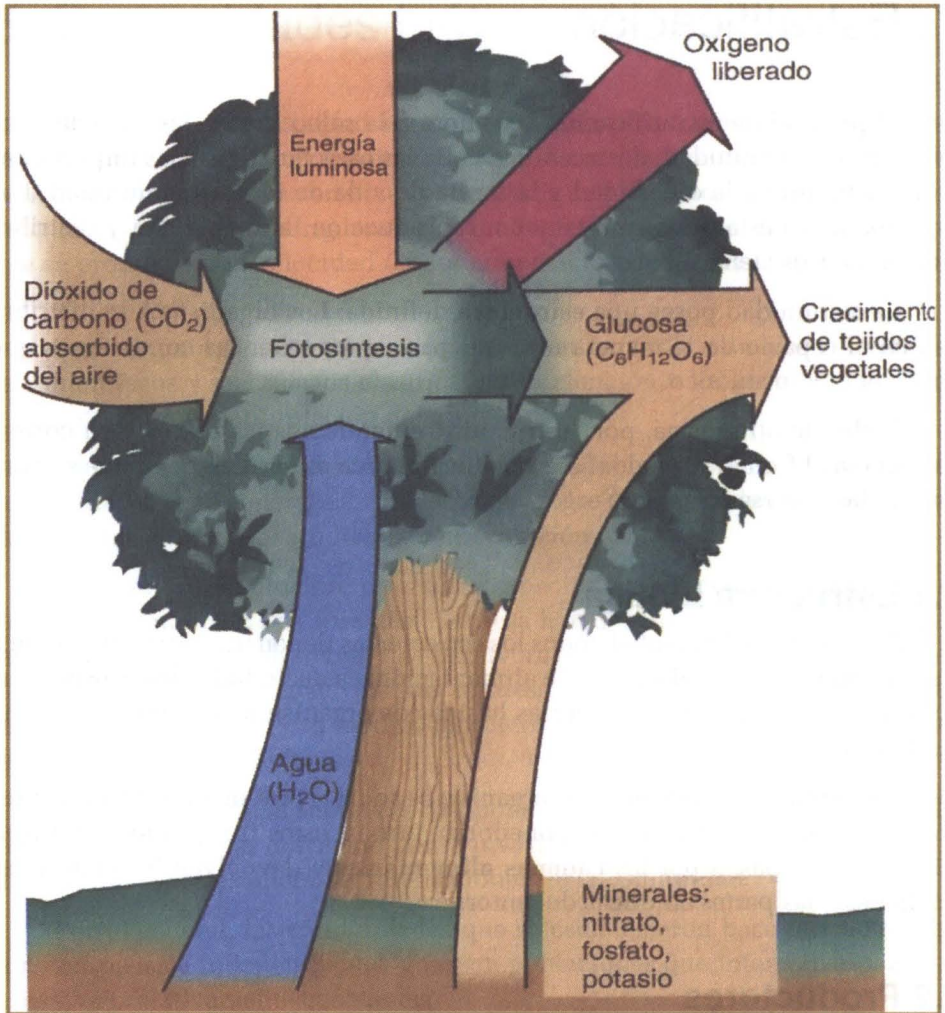
A pesar de su diversidad, todos los ecosistemas tienen una estructura biótica similar basada en las relaciones de alimentación; es decir, todos los ecosistemas presentan las mismas tres categorías básicas de organismos que interactúan de modo similar.

Las principales categorías de organismos son: (1) productores, (2) consumidores y (3) saprofitos y descomponedores. Juntos, estos tres grupos producen alimentos, los pasan por las **cadena alimentarias** y devuelven los materiales originales a las partes abióticas del entorno.

7.2 Productores

Son principalmente plantas verdes, que aprovechan la energía lumínica del sol para convertir agua y dióxido de carbono (absorbido del agua o del aire) en un azúcar llamado **glucosa** y liberar oxígeno como subproducto.

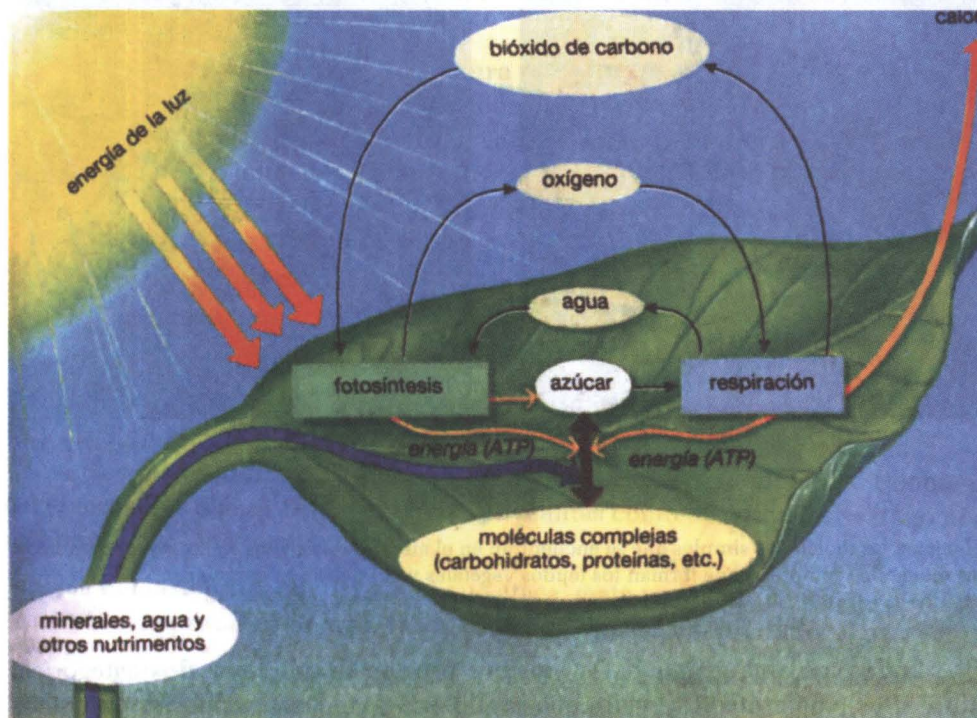
La conversión química propiciada por la energía solar recibe el nombre de **fotosíntesis**. Los vegetales elaboran todas sus complejas moléculas a partir de la glucosa producida por fotosíntesis y unos pocos nutrientes, como nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, que absorben del suelo o del agua, como se observa en la gráfica:



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

En todos los principales ecosistemas, las plantas verdes son los productores, pues contienen el pigmento verde llamado clorofila, que absorbe la energía de la luz para elaborar glucosa a partir de dióxido de carbono y agua y liberar oxígeno como subproducto, se valen de la glucosa, junto con los minerales que toman del suelo, para formar tejidos vegetales y crecer.

Otra forma de representar el maravilloso proceso fotosintético la encontramos en el texto de Teresa y Gerald Audesirk (1998) y es el siguiente:

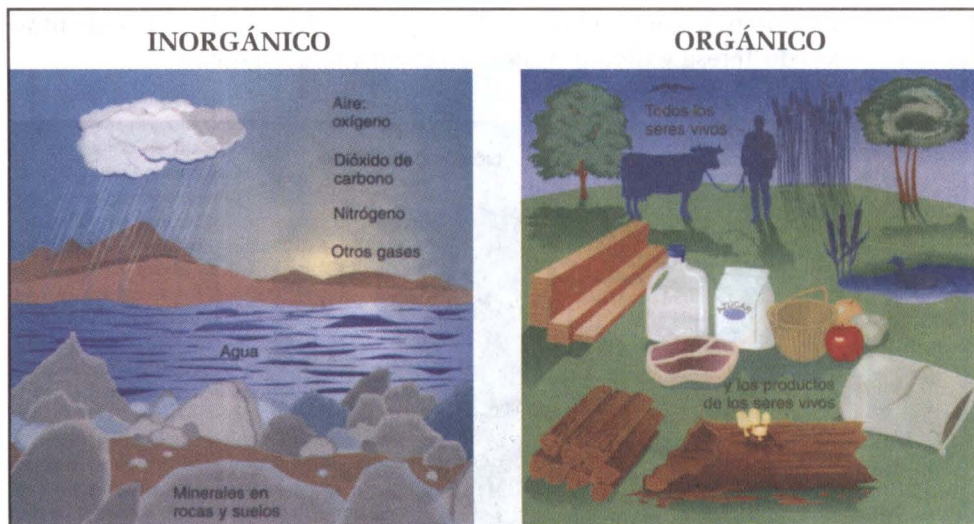


Tomado de Audesirk, T. y Audesirk, G., 1998

Durante la fotosíntesis, las plantas captan la energía de la luz solar y la almacenan como ATP, azúcar y otros carbohidratos de alta energía, sintetizados del bióxido de carbono y agua. Se libera oxígeno como un producto secundario.

El término **orgánico** se aplica a los materiales de los que están formados los organismos, moléculas de proteínas, grasas o lípidos y carbohidratos. Así mismo, también se consideran orgánicos los productos de los seres vivos, como hojas muertas, cuero, azúcar o madera.

Llamamos **inorgánicos** a los materiales y químicos del aire, agua, rocas y minerales que no participan de la actividad de los organismos vivos. Gráficamente puede ser representado así:



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

El agua y las moléculas simples que se encuentran en el aire, las rocas y los suelos son inorgánicos, las moléculas complejas que forman los tejidos vegetales y animales son orgánicas.

Todos los organismos de la **biosfera** pueden dividirse en dos categorías: **autótrofos** y **heterótrofos**, según que produzcan o no los compuestos orgánicos que necesitan para sobrevivir y crecer. Los que **elaboran** su propia materia orgánica a partir de los constituyentes orgánicos del medio usando una fuente externa de energía son **autótrofos** (de autos: “**propio, por uno mismo**”, y trofés, “**alimentación**”).

Las plantas verdes son los autótrofos más importantes y comunes; sin embargo, unas cuantas bacterias y plantas emplean un pigmento púrpuro para realizar fotosíntesis y algunas otras adquieren su energía de compuestos químicos inorgánicos.

Todos los demás organismos que deben **consumir** materia orgánica para obtener energía y nutrientes son los **heterótrofos** (héteros: “**otro**”), que pueden dividirse en numerosas subcategorías, de las que las dos principales son **consumidores** (que comen presas vivas) y **saprofitos** y **descomponedores**, que se alimentan de organismos muertos y sus productos.

7.3 Consumidores

Comprenden una gran variedad de organismos que van desde bacterias microscópicas a las ballenas azules (de más de 65 m de largo, 120 toneladas de

peso, como curiosidad su corazón es del tamaño de un auto escarabajo), e incluyen grupos tan diversos como los protozoarios, los gusanos, los peces, los crustáceos, los insectos, los reptiles, los anfibios, las aves y los mamíferos (entre éstos el humano).

Con el fin de entender la **estructura** de los ecosistemas, los consumidores se clasifican en varios subgrupos de acuerdo con su fuente de alimentación. Los animales (sean tan grandes como un elefante o tan pequeños como un ácaro) que se alimentan directamente de productores se denominan **consumidores primarios** o **herbívoros** (de vorare: “**comer**”), también se les dice **fitófagos**.

Los animales que se alimentan de los consumidores primarios reciben el nombre de **consumidores secundarios**. También puede haber consumidores de tercero y cuarto órdenes, y hasta superiores, y ciertos animales ocupan más de un lugar en la escala; por ejemplo, el ser humano que es consumidor primario cuando ingiere hortalizas, secundario si come carne de res y terciario si come peces que se alimentan de otros que a su vez consumen algas.

Los consumidores de segundo orden y superiores se denominan también **carnívoros**, los que se alimentan tanto de plantas como de animales se denominan **omnívoros** (de omni: “**todo**”).

Se llama **depredador** al animal que ataca, mata y se come a otro, que recibe el nombre de **presa**. Se dice que sostienen una relación **depredador** y **presa**.

Los **parásitos** son una categoría especial de consumidores. Se trata de organismos vegetales o animales que se vinculan estrechamente a su “presa” y se alimentan de ella durante un largo período, por lo regular sin matarla (al menos no de inmediato), aunque a veces la debilitan tanto que la vuelven propensa a que la maten otros depredadores o las condiciones adversas. Esta planta o animal del que se alimenta un parásito recibe el nombre de **huésped** (también hospederio), siguiendo el significado original del vocablo; así decimos que es una asociación de huésped y parásito.

Casi todos los principales grupos de organismos tienen miembros que viven del parasitismo. Los parásitos pueden vivir dentro o fuera del huésped.

En biología, se llaman **detritos** a los materiales vegetales muertos como hojas, ramas y troncos caídos y hierba seca, así como a los desechos fecales de animales y, a veces, a sus cadáveres.

Muchos organismos se han especializado en alimentarse de estos elementos, y les damos el nombre de **saprofitos** o **detrítívoros**. Entre los ejemplos, como ya se dijo, se cuentan la lombriz de tierra, los miriópodos, los cangrejos de río, las termitas, las hormigas y los escarabajos xilófagos o comedores de restos de madera.

Al igual que con los consumidores, podemos identificar **saprofitos primarios** (que se alimentan directamente de detritos), **secundarios** (que se alimentan de los primarios), etcétera.

Un grupo extremadamente importante de devoradores primarios de detritos es el de los **descomponedores de detritos**, a saber, hongos y bacterias de putrefacción.

Al describir la estructura biótica de los ecosistemas, es evidente que las principales relaciones entre los organismos son de alimentación.

Podemos identificar numerosas secuencias en que un organismo es comido por otro, y éste a su vez por uno más, etcétera. Cada una de estas secuencias recibe el nombre de **cadena alimenticia**.

De hecho, todas las cadenas alimenticias están entretejidas y forman una **red** o **trama** de relaciones de alimentación. Así, se emplea la expresión de **trama alimenticia** (también **red alimenticia**), para denotar la compleja “malla” de cadenas alimenticias entreveradas (Nebel y Wrigth, 1999).

El cuadro de la página siguiente ilustra un resumen de la clasificación ecológica de los seres vivos, de acuerdo con sus características de alimentación:

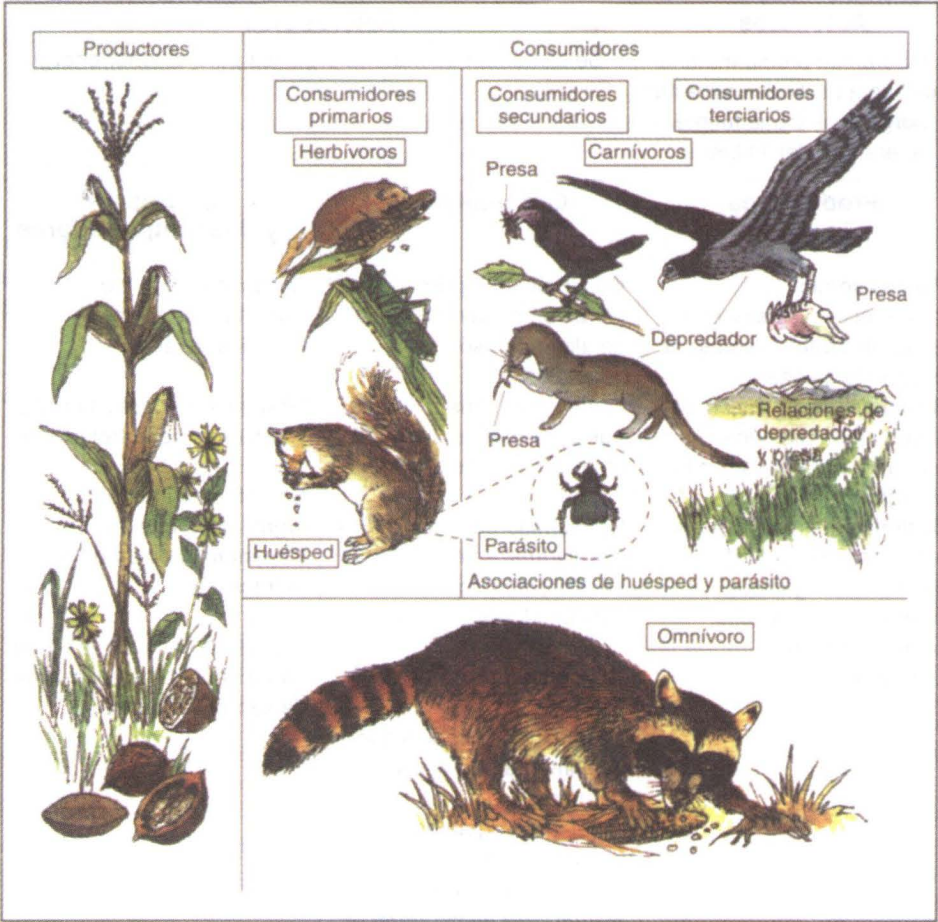
Resumen de la clasificación ecológica de los seres vivos de acuerdo con sus características de alimentación.

Autótrofos Elaboran su propia materia orgánica a partir de nutrientes inorgánicos y una fuente de energía del ambiente.	Heterótrofos Se alimentan de materia orgánica para obtener energía	
Productores	Consumidores	Saprophytos y descomponedores
Plantas verdes fotosintéticas: se sirven de la clorofila para absorber la energía luminosa. Bacterias fotosintéticas: se sirven de un pigmento púrpuro para absorber la energía de la luz. Bacterias quimiosintéticas: emplean compuestos químicos inorgánicos altamente energéticos, como el sulfuro de hidrógeno.	Consumidores primarios Herbívoros: animales que se alimentan sólo de vegetales. Omnívoros: consumidores que se alimentan tanto de plantas como de animales. Consumidores secundarios Carnívoros: animales que se alimentan de los consumidores primarios. Consumidores de orden superior Carnívoros: animales que se alimentan de otros carnívoros. Parásitos: vegetales o animales que toman como huésped a otra planta o animal para alimentarse de él durante un período prolongado.	Organismos que se alimentan de materia orgánica muerta. Descomponedores: hongos y bacterias de putrefacción. Saprophytos primarios: organismos que se alimentan directamente de detritos. Saprophytos secundarios y de orden superior: se alimentan de saprophytos primarios.

Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

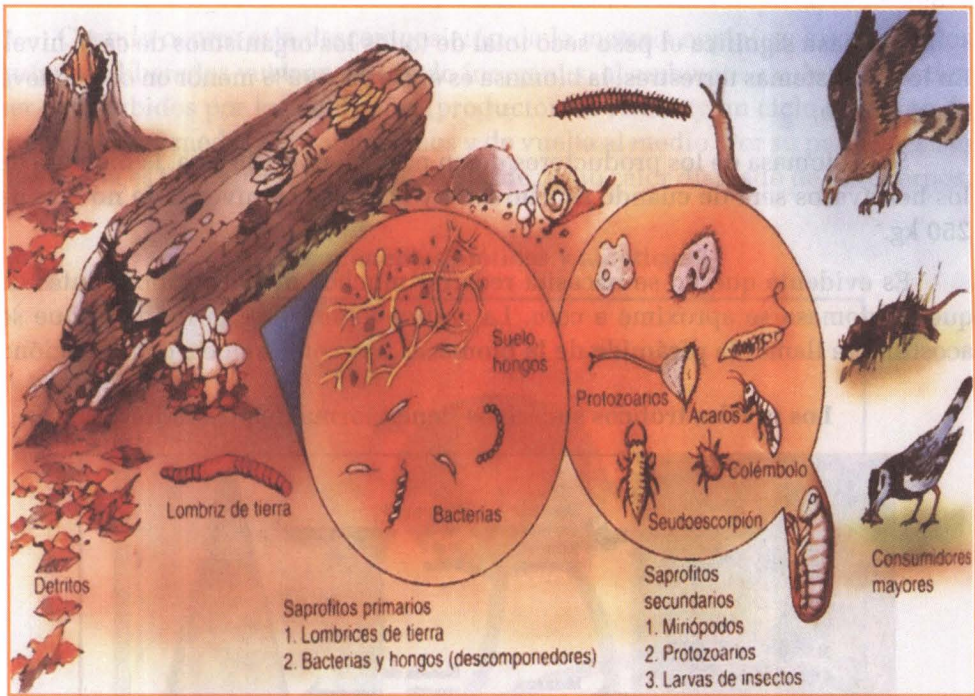
En las siguientes gráficas se observan las asociaciones alimentarias (tróficas) entre los saprophytos primarios, los secundarios y los consumidores.

Asociaciones alimentarias (tróficas) comunes entre productores y consumidores



Tomado de Nebel y Wrigth (1999)

Asociaciones de alimentación entre los saprofitos



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999

Asociaciones alimentarias (trófica) entre los saprofitos primarios, los secundarios y los consumidores. Los organismos que se alimentan de detritos sustentan a muchos otros que viven en el suelo; éstos a su vez son comidos por consumidores mayores.

Básicamente, todas las cadenas alimenticias avanzan por una serie de pasos o niveles, de los productores a los consumidores primarios (o saprofitos primarios) a los secundarios, etcétera, que llamamos **niveles tróficos**.

Todos los productores pertenecen al primer nivel trófico; todos los consumidores primarios (en otras palabras, todos los herbívoros o fitófagos), que se alimentan de productores vivos o muertos, se encuentran en él, y los organismos que se alimentan de éstos pertenecen al tercer nivel, etcétera (Nebel y Wrigth, 1999).

Sea que consideremos la estructura biótica del ecosistema en términos de cadenas o tramas alimenticias o bien niveles tróficos, debemos observar que en cada paso hay un movimiento fundamental de un organismo al siguiente de nutrientes químicos y la energía almacenada que contienen.

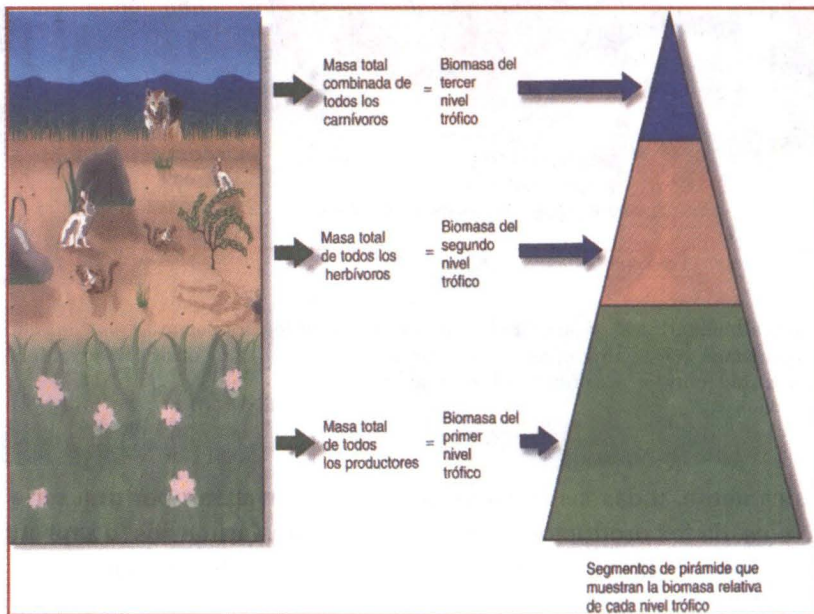
¿Cuántos niveles tróficos hay? No más de tres o cuatro en cada ecosistema, según se desprende de observaciones directas.

Biomasa significa el peso seco total de todos los organismos de cada nivel. En los ecosistemas terrestres, la biomasa es entre 90 y 99% menor en cada nuevo nivel trófico.

Si la biomasa de los productores de un pastizal es de 25 t/ha, la biomasa de los herbívoros será de cuando mucho 2.5 t y la de los carnívoros de no más de 250 kg.

Es evidente que no se necesita recorrer muchos niveles tróficos antes de que la biomasa se aproxime a cero. La gráfica de este hecho forma lo que se acostumbra llamar la **pirámide de la biomasa**, y es como sigue a continuación:

Los niveles tróficos sucesivos tienen forma de pirámide



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

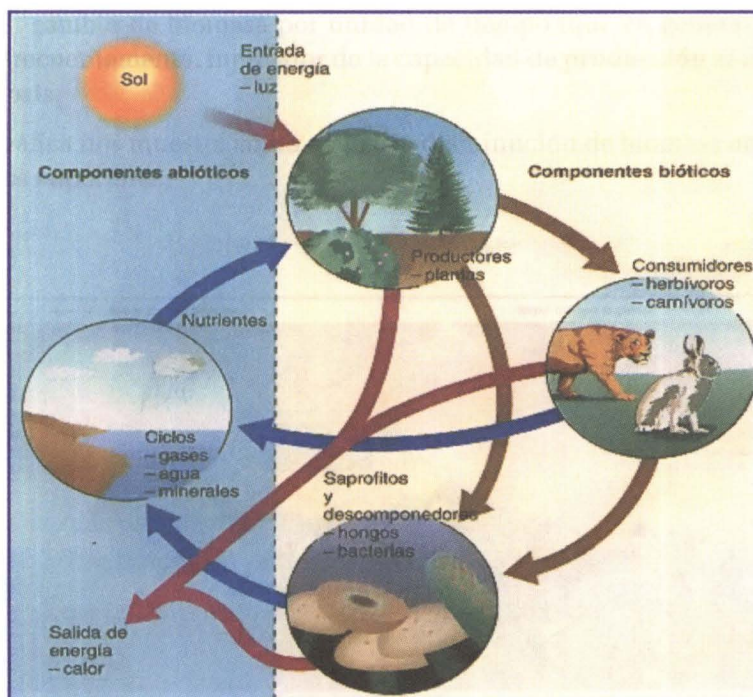
La diferencia tan enorme de la biomasa entre cada nivel trófico se debe a que el heterótrofo no convierte en tejidos orgánicos mucho de lo que consume, sino que lo descompone para liberar y utilizar la energía que contiene; así, hay una pérdida inevitable de biomasa con cada desplazamiento a niveles tróficos superiores.

Todos los heterótrofos dependen de un suministro continuo de la materia orgánica reciente que producen los autótrofos (plantas verdes); de lo contrario se

quedarían sin alimento y morirían de hambre, ya que descomponen la comida para liberar la energía almacenada en ella (Nebel y Wrigth, 1999).

Cuando ocurre esta descomposición de la materia orgánica, los elementos químicos liberados vuelven en estado inorgánico al ambiente, de donde pueden ser reabsorbidos por los autótrofos (productores). Así, hay un ciclo continuo de nutrientes del medio a los organismos y de vuelta al medio. Por su parte, el gasto de energía es irrecuperable porque se pierde como calor disipado de los cuerpos.

Componentes bióticos y abióticos



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

Las flechas azules ilustran el desplazamiento de los nutrientes, el de energía se ilustra con flechas rojas. Los nutrientes siguen un ciclo, y se utilizan repetidamente. La energía luminosa que absorben los productores se libera y se pierde en forma de calor, conforme se “gasta”. (De Robert Christopherson, *Geosystem*, 2ª ed. 1994, pág. 587. Reimpreso con permiso de Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey. Según B. J. Nebel, *Environmental Science*, 1a.ed., 1980, Prentice may, Upper Saddle River, Nueva Jersey).

Al interior del ecosistema se establecen **Relaciones corológicas**, es decir, relativas a la distribución de las especies, entre seres que compiten por la luz, el

alimento, el agua o la búsqueda de protección frente a un factor ambiental desfavorable o frente a un enemigo natural.

Lo anterior es lo que conduce a la estructuración de la biocenosis en el espacio (en **estratos**) y en el tiempo (en **fenofases**).

En el seno de los estratos más o menos independientes formados de esta manera se establece una división del trabajo por lo cual cada especie realiza una determinada función, la cual se identifica como ya se dijo con el nombre de **Nicho ecológico**.